DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang. 18. Mai 1923. Heft 20.

Studien über die Bewegungsphysiologie niederer Organismen.

Von P. Metzner, Berlin-Dahlem.

I.

Weitaus die Mehrzahl der im Wasser lebenden Mikroorganismen ist dauernd oder wenigstens während gewisser Entwicklungszustände zu aktiver Ortsbewegung befähigt. Amöben und andere Rhizopoden, Kieselalgen, gewisse Zieralgen (z. B. Closterium), Blaualgen (Oscillaria) und Schwefelbakterien (Beggiatoa) kriechen nur auf fester Unterlage umher, während das Heer der „Aufgußtierchen" — Ciliaten, Flagellaten, Bakterien und pflanzliche Schwärmer — sich frei im Wasser tummelt. So verschieden wie die Art der Fortbewegung sind auch die Mittel zur Erreichung dieses Zweckes. Bei kriechenden Organismen sind gewöhnlich keine besonderen Bewegungsorgane ausgebildet — Plasmabewegungen als Folge von Oberflächenspannungsänderungen (bei Rhizopoden) oder bestimmt gerichtete Schleimausscheidungen (Oszillarien, vermutlich auch Beggiatoa) sind die treibenden Kräfte. Nur bei den Diatomeen findet sich ein komplizierter sinnreicher Mechanismus, der die Bewegung regelt. Dagegen bedürfen freischwimmende Objekte stets mechanisch wirkender Schwimmorgane — Wimpern, Geißeln oder undulierender Membranen —, durch deren Tätigkeit die Organismen vorangetrieben werden.

Jeder Tropfen Sumpfwasser oder eines Heuaufgusses zeigt uns ein buntes Gewimmel mannigfachster Gestalten in regellosem Durcheinander. Aber nicht immer bleiben die Schwimmbahnen dem Zufall überlassen. Äußere — physikalische und chemische — Einflüsse können nämlich diese Bewegungen in bestimmte Bahnen leiten, zu oft recht auffälligen Reizbewegungen („Taxien") Anlaß geben, die auch im normalen Lebenslauf dieser Organismen eine große Rolle spielen. Das Studium dieser Bewegungserscheinungen bietet somit für die physiologische Erforschung der lebendigen Substanz in mehrfacher Hinsicht Interesse. Von grundsätzlicher Bedeutung ist es angesichts der Mannigfaltigkeit in Körperform und Bewegungsmodus, zunächst den hier gebotenen *mechanischen* Problemen nachzugehen und die gemeinsamen Gesetzmäßigkeiten aufzudecken. Eröffnet uns doch dieser Weg im Verein mit physiologischen Versuchen allein die Aussicht, indirekt Anhaltspunkte für die *Art* und den *Ablauf* der Vorgänge im Geißelplasma zu gewinnen, die als Ursache der sichtbaren Bewegung gelten müssen und die aus leicht ersichtlichen Gründen der direkten Beobachtung nicht zugänglich sind.

Wimpern und Geißeln wurden am ehesten bei Ciliaten (Paramaecium und verwandten Formen), relativ früh auch bei einzelnen Flagellaten erkannt. Schon *Baker* deutete 1752 diese Gebilde bei Volvox ganz richtig als Bewegungsorgane. Erst viel später lernte man die Geißeln als Bewegungsorgane bei den Bakterien kennen. Alle diese Gebilde sind ja entsprechend der Kleinheit der Organismen so fein, daß sie nur in günstigen Fällen überhaupt die Grenze mikroskopischer Sichtbarkeit überschreiten, und selbst die relativ kräftigen Cilien der Infusorien lassen auch bei Verwendung unserer besten Mikroskopoptik am lebenden Objekt keine Einzelheiten des Baues sicher erkennen. Zwar hatte schon *Ehrenberg* 1836 bei dem riesigen zu den schwefelhaltigen Purpurbakterien zählenden Thiospirillum jenense (damals noch Ophidomonas jenense genannt) den feinen bewegten „Rüssel" gesehen und *Cohn* 1872 Geißeln als Bewegungsorgane der großen Faulwasserspirillen beschrieben, doch wurde der Nachweis von Geißeln bei *allen* aktiv beweglichen Bakterienformen erst durch die von *Löffler* 1889 in die bakteriologische Technik eingeführte Beiz- und Färbemethodik ermöglicht. Hierbei wird durch Quellung der Ciliensubstanz und Anlagerung von Farbstoffen erreicht, daß die Geißeln nun die zur Sichtbarmachung erforderliche Dicke erhalten. Freilich lassen sich mit dieser Arbeitsweise nur morphologische Fragen — Vorkommen, Zahl, Größe und Anordnung der Geißeln — entscheiden; weder über feinere anatomische Einzelheiten noch über die Art und Weise der mechanischen Wirksamkeit läßt sich etwas Bestimmtes aussagen. Auch bei der Beurteilung der Tätigkeit der derberen Geißeln von Flagellaten und Wimpern von Infusorien mußte man sich auf die Beobachtung absterbender oder durch Gelatine bzw. Quittenschleim in der Bewegung behinderter Individuen beschränken, weil bei normaler Geschwindigkeit die Cilien dem Auge wie eine rasch geschwungene Peitsche entschwinden.

Erst die Einführung der Dunkelfeldbeleuchtung mit Hilfe der modernen Spiegelkondensoren (von *Reichert, Siedentopf, Jentzsch* u. a.) brachte neue Fortschritte. Das Prinzip dieser Methodik besteht bekanntlich darin, daß durch intensive (und allseits gleiche) seitliche Beleuchtung auch ultramikroskopisch kleine Objekte leuchtend auf dunklem Grunde hervortreten — ähnlich wie wir die feinsten sonst unsichtbaren Stäubchen im Sonnenlicht tanzen sehen. Das gilt nun auch für die feinen Wimpern und Geißeln, und wir sind so

imstande, diese Gebilde am lebenden unversehrten Objekt während ihrer Tätigkeit zu beobachten. Wir sehen allerdings in den meisten Fällen nicht etwa die Form der bewegten Wimper selbst, sondern infolge der großen Geschwindigkeit des Cilienschlages und der Nachwirkung des Lichteindruckes im Auge nur den von ihr durchschwungenen Raum als mattleuchtendes Gebilde mit etwas helleren Konturen: den „Schwingungsraum". Von *Reichert* (1909), *Fuhrmann* (1910), *Ulehla* (1911) und *Buder* (1915)[1]) ist so die Bewegung, besonders die Gestalt der Schwingungsräume einer Anzahl von Organismen mit Erfolg studiert worden. Für eine genauere Analyse des Formwechsels der Cilien und der Kräfteverteilung während der Bewegung z. B. bei Flagellaten reicht jedoch die Beobachtung der Schwingungsräume allein nicht aus, und es ist deshalb versucht worden, durch Kombination verschiedenartiger Beobachtungsmethoden und Heranziehung geeigneter Modellversuche die mechanische Wirksamkeit der Cilien und ihre Beteiligung bei der Ausführung der verschiedenen Reizbewegungen zu ermitteln (*Metzner* 1920, 1923).

II. *Der Bau der Cilien.*

Zum besseren Verständnis der Bewegungserscheinungen müssen wir uns zunächst über die wichtigsten anatomisch-morphologischen Tatsachen kurz orientieren. Der äußeren Gestalt nach hat man zwischen Wimpern (Flimmern, Cilien im engeren Sinne) und Geißeln unterschieden. Erstere sind meist verhältnismäßig kurz und bekleiden in größerer Anzahl die Oberfläche der Organismen (z. B. Infusorien); hierher sind auch die Wimpern des Flimmerepithels der Metazoen zu rechnen. Die Geißeln hingegen sind nur einzeln oder in geringer Anzahl vorhanden und zeichnen sich in der Regel durch größere Länge aus (so z. B. bei Flagellaten, Mastigamöben, pflanzlichen Schwärmern). Diese Abgrenzung ist jedoch nur konventionell, denn beide Gruppen von Cilien stimmen im feineren Bau und im inneren Mechanismus der Bewegung überein — soweit wir das mit unseren heutigen Mitteln entscheiden können.

Am lebenden Objekt erscheinen die Cilien als homogene, optisch isotrope und etwas lichtbrechende Fäden von kreisförmigem oder elliptischem Querschnitt, die in der Ruhe meist schwach schraubig gekrümmt erscheinen. Sie sind entweder in ihrer ganzen Ausdehnung gleich dick (etwa zwischen 0,05—0,5 μ) oder nach dem freien Ende zu verjüngt; in selteneren Fällen (Polytoma, Spermatozoiden von Marchantia) findet sich an einer verhältnismäßig derben Geißel noch ein viel dünneres Endstück (*Fischer, Ulehla, Metzner*), das anscheinend nur passiv mitgeschleppt wird („Peitschengeißel"). Die Cilien sind — wie schon ihre aktive Beweglichkeit anzeigt — plasmatische Organe und entspringen in allen Fällen dem Ektoplasma, durchbohren also auch etwa vorhandene Hüllschichten. Phylogenetisch scheinen sie aus Pseudopodien hervorgegangen zu sein; wenigstens kennen wir nach den Berichten verschiedener Autoren alle möglichen Übergangsformen, u. a. auch typische Pseudopodien, die auffällige, rasch schwingende Bewegungen ausführen. Durch Färbung fixierten Materiales konnte an den Cilien verschiedener Organismen (Infusorien, Flagellaten, Flimmerzellen höherer Tiere) das Vorhandensein eines dichteren (elastischen?) Achsenstabes sichergestellt werden, der dann von einer ektoplasmatischen Hülle — der eigentlich aktiven Substanz — bekleidet ist (Lit. s. bei *Erhard* 1910). Mit denselben Methoden lassen sich am Fuß der Cilien im Innern der Zelle in der Regel besonders stark färbbare Gebilde nachweisen, die je nach ihrer Ausbildung als Wimperwurzeln (so bei Flimmerzellen), Basalkörperchen (z. B. bei Infusorien) oder Blepharoplasten (bei Flagellaten u. a.) bezeichnet werden und deren Bedeutung noch unklar ist. *Peter* und auch *Strasburger* meinten, hier sei das kinetische Zentrum für die Flimmerbewegung zu suchen; *Eismond* und eine Reihe anderer Autoren hielten diese Strukturen für mechanisch wirksame Verankerungen. *Gurwitsch* sieht sie als Organe zur Ernährung arbeitender und Regeneration „abgenutzter" oder verlorengegangener Cilien an. Entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen an verschiedenen Objekten, hauptsächlich an pflanzlichen Spermatozoiden, haben denn auch gezeigt, daß die Cilien tatsächlich aus dem Blepharoplasten hervorgehen und daß isolierte Cilien sich merklich länger bewegen, wenn ihnen das Basalkorn noch anhaftet (*Alverdes* 1922 a). Ob damit seine Funktionen erschöpft sind, ist freilich schwer zu sagen. Sind mehrere Cilien vorhanden, so entspringen sie entweder einem gemeinsamen Blepharoplasten (z. B. Spermatozoiden der Farne und Gymnospermen) oder es bestehen besonders differenzierte Verbindungen zwischen den einzelnen Cilien (bzw. ihren Basalkörpern). Je deutlicher diese Verbindungen entwickelt sind, um so mehr zeigen sich die Cilien in ihrer Tätigkeit voneinander abhängig. Am auffälligsten ist diese „Koppelung" bei den Peristomwimpern (bzw. adoralen Membranellenstreifen) der Infusorien und den Cilienbändern der Spermatozoiden; sie äußert sich vor allem in strenger Gleichheit von Frequenz und Schlagrichtung und im sog. „Metachronismus". (Jede Wimper beginnt ihren Schlag etwas später als die vorhergehende; die erste Wimper gibt also jeweils das Tempo an.) Wir gehen wohl kaum fehl, die Ursache dieser Abhängigkeit eben in diesen basalen Strukturen (etwa als Reizleitungsbahnen) zu suchen. Die Ergebnisse von Durchschneidungsversuchen (*Verworn* u. a.) sprechen ebenfalls für diese Ansicht. *Rees* fand 1921 die entsprechenden Gebilde bei Paramaecium zu einem einheitlichen Komplex mit einem gemeinsamen Zentrum vereinigt und spricht

[1]) Literaturverzeichnis am Schluß des Aufsatzes.

geradezu von einem „neuromotor system". Das Geißelplasma ist zwar auch ohne Mitwirkung des Basalkornes oder Blepharoplasten überall zu aktiver Bewegung fähig (also autonom), aber die *Regelung* der Bewegung — sowohl die Herstellung der für die Cilienbewegung so charakteristischen strengen Rhythmik als auch die Ausführung der Reizantworten — geschieht auch bei der Einzelgeißel sicher von der Basis aus. Bei langsamerer Bewegung sieht man auch die Kontraktionen hier beginnen und distalwärts die Geißel entlangschreiten. Durch besonders hohen mechanischen Effekt und aktive Biegsamkeit zeichnet sich besonders das basalwärts gelegene Geißelende aus.

III. *Die normale Bewegung.*

Die Bewegungen selbst sind so vielgestaltig, daß es zunächst schwer erscheint, sie auf gewisse Typen zurückzuführen. *Valentin* versuchte bereits 1842 in seiner Zusammenstellung des damaligen Wissens von der Flimmerbewegung eine solche Einteilung. Er unterscheidet: 1. die hakenförmige (motus uncinatus), 2. die trichterförmige (m. infundibuliformis), 3. die schwankende (m. vacillans) und 4. die wellenförmige (m. undulatus). Später fügten *Becker* 1857 noch die peitschenförmige (m. flagelliformis) und *Erhard* 1910 die schraubenförmige Bewegung (m. cochleariformis) hinzu. Damit sind allerdings nur einige besonders einfache Spezialfälle erfaßt, die in den mannigfachsten Variationen und Kombinationen zu beobachten sind. Dazu kommt, daß sehr oft — besonders bei Einzelgeißeln — ein plötzlicher Wechsel des Bewegungsmodus stattfindet. Gleichwohl gelingt die Feststellung, daß unter gewissen Bedingungen besonders einfache mechanische Verhältnisse obwalten, die der Analyse zugänglich sind. Von hier aus bekommen wir auch einen Einblick in das Zustandekommen der scheinbar so komplizierten Bewegungsformen. — Wenn wir den mechanischen Effekt der Bewegung berücksichtigen, lassen sich zwanglos zwei Formen der Cilientätigkeit unterscheiden: Bei Organismen mit nur einer (in der Regel polar angehefteten) aktiven Geißel werden von dieser mehr oder minder regelmäßige *Rotationskörper* umschwungen, und man kann in manchen Fällen wohl, wie das schon öfter getan wurde, ihre Wirksamkeit mit der einer Schiffsschraube vergleichen. Bei längeren Wimperreihen erfolgt dagegen die Bewegung (der seitlich inserierten Cilien) in einer bestimmten Ebene mit kräftigem Vorschwung und schwächerem Rückschwung, so daß sich eine *Ruderwirkung* ergibt. Wir beginnen mit der Besprechung der rotierenden Geißeln.

a) Die „rotierenden" Cilien.

Auf Grund theoretischer Überlegungen hat bereits *Bütschli* 1889 eine Theorie der Geißelbewegung bei Flagellaten aufgestellt. *Bütschli* stellt sich vor, daß die Geißeln infolge einer in ihnen spiralig verlaufenden „Kontraktionslinie" schraubig gekrümmt seien; dadurch, daß diese Kontraktionslinie die Geißel umwandert, gerät die „Geißelschraube" in Rotation, nun etwa analog einer Schiffsschraube oder einem Propeller wirkend. Die Geißel selbst ändert dabei ihre *Orientierung zum Körper* selbstredend *nicht*. Diese wohldurchdachte Anschauung fand allgemeine Anerkennung, ist nach neueren Untersuchungen jedoch nur für wenige Sonderfälle gültig (*Buder, Metzner*). Für die Beurteilung der Bewegungsformen besonders fruchtbar erwies sich die konsequente Beachtung der Tatsache, daß die Gestalt der Geißeln während der Bewegung nicht nur durch die in ihnen wirkenden Kräfte bedingt ist, sondern von dem ihrer Bewegung entgegenwirkenden Wasserwiderstand unter Umständen stark beeinflußt wird — um so mehr, je rascher die Bewegung verläuft. Aus dem gleichen Grunde ist die Form des Körpers für die Bewegung von großer Bedeutung. Wir sind zwar über die Widerstandsverhältnisse so winzig kleiner Objekte weder theoretisch noch praktisch genügend informiert, doch konnten durch Versuche an rotierenden „Geißelmodellen" wenigstens qualitativ vergleichbare Ergebnisse gewonnen werden (*Metzner* 1920 a, c).

Die Modellversuche wurden derart angestellt, daß verschieden gestaltete mehr oder minder elastische Drähte als „Geißeln" innerhalb eines Wassertroges durch einen Motor in rasche Drehung versetzt wurden. Mit Hilfe seitlich beleuchteter in der Flüssigkeit schwebender winziger Gasbläschen konnten dann die vom Modell erzeugten Flüssigkeitsbewegungen studiert werden. Mit diesen Strömungsbildern und den Formen der „Schwingungsräume" können dann die Verhältnisse am lebenden Objekt verglichen werden[1]). Die von den Geißeln erzeugten Strömungen lassen sich im Dunkelfeld oft sehr schön durch Zufügen kolloidaler Suspensionen (koll. Silber, Mastixsuspension, chines. Tusche), oft auch durch die beim Zerdrücken von Infusorien freiwerdenden feinkörnigen Plasmaeinschlüsse sichtbar machen[2]).

Dabei stellte sich heraus, daß auch *gerade* Geißeln, die einen schlanken Kegelmantel umschwingen, eine Zugwirkung hervorbringen, und daß längere Geißeln bei ihrer Tätigkeit infolge des Wasserwiderstandes *passiv* Schraubenform annehmen. Je rascher die Bewegung erfolgt, desto schlanker werden die Schwingungsräume infolge einer zentripetal wirkenden Kraftkomponente, desto regelmäßiger wird aber auch die Bewegung,

[1]) Dabei bedurfte es natürlich genauer Untersuchung, inwieweit die Modellversuche mit den Beobachtungen an den — molekularen Dimensionen schon nahekommenden — Geißeln überhaupt vergleichbar sind.

[2]) Solche Strömungen können natürlich nur entstehen, wenn die Organismen irgendwie (durch Festkleben, Einklemmen usw.) an der Bewegung *verhindert* sind, weil eben sonst die *Organismen* gegen das *ruhende* Wasser bewegt werden.

während bei langsamer Bewegung Unregelmäßigkeiten der Kontraktion viel eher zur Geltung kommen. Ja, es scheint, als ob durch die Schnelligkeit der Rotation den Geißeln eine gewisse Festigkeit und Starrheit der Form verliehen würde — ähnlich wie die von *Parseval* und *Hoste* konstruierten Stoffpropeller ihre Stabilität durch die Zentrifugalkraft erlangen. Nur spielt hier die Zentrifugalkraft begreiflicherweise keine Rolle, dagegen steht die Erscheinung vielleicht im Zusammenhang mit den Oberflächenenergien, denen zufolge — wie *Hatschek* gezeigt hat — kleine Flüssigkeitströpfchen z. B. immer mehr die Eigenschaften fester Körper annehmen, je kleiner sie sind. Auf die weichen plasmatischen Substanzen der Geißeln ist das ohne weiteres anwendbar. — Als Beispiel sei hier zunächst ein Individuum aus einer kleinen Kolonie von *Uroglena volvox* dargestellt (Fig. 1). Die Hauptgeißel ist in Fig. 1a in voller Tätigkeit begriffen und erzeugt einen ziemlich starken Wasserstrom, dessen Richtung und Stärke durch die Pfeile angedeutet ist. Bei abnehmender Schnelligkeit baucht sich der schlanke Schwingungsraum weiter aus (Fig. 1b) und bei weiterer Verlangsamung kann endlich

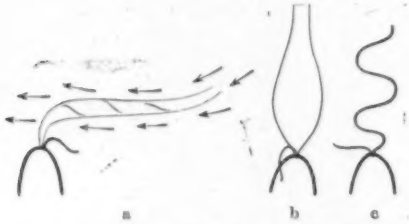


Fig. 1. Bewegung der Geißeln von *Uroglena volvox*.

kein „Schwingungsraum" mehr zustandekommen: wir sehen die Geißel selbst in unregelmäßig schlängelnder Bewegung (Fig. 1c), wie sie ähnlich auch durch Hin- und Herbewegen eines dünnen Gummischlauches in Wasser zu erzielen ist. Bei genauerem Zusehen erkennen wir, daß auch hier die *Basis* der Geißel rotiert — einen Trichter beschreibt — und daß von ihr aus Kontraktionswellen an der Geißel distalwärts hinlaufen, die im Verein mit dem Wasserwiderstand zu der komplizierten Bewegung führen. Weiter sehen wir, daß auch die Lage des gesamten Schwingungsraumes bei unserem Objekt durch Krümmung der basalen Geißelpartie *aktiv* verändert werden kann. Nicht immer ist der Querschnitt des Schwingungsraumes kreisförmig, wie bei Uroglena; viel häufiger ist er elliptisch, oft auch ganz flach. Das kann die Folge eines besonderen Bewegungsmodus sein, aber auch rein passiv durch die Widerstandsverteilung bei bandförmigen Geißeln entstehen. So z. B. bei Monas vulgaris, Chromulina Rosanoffii, Chilomonas paramaecium, Pandorina morum u. a. m. (*Metzner* 1920 a). Bei *Monas vulgaris* (Fig. 2) ist außerdem noch eine dauernde Krümmung des Schwingungsraumes zu beobachten. Fig. 2a zeigt den Schwingungsraum mit der erzeugten Strömung im Profil, Fig. 2b denselben von vorn gesehen. Auch hier verbreitert sich der Schwingungsraum bei abnehmender Tätigkeit, und schließlich wird die Bewegung unruhig, „zappelnd". Wiederum zeigt dann die Geißel komplizierte Bewegungen, die aus dem Zusammenwirken lokaler Kontraktionen mit dem Wasserwiderstand zu erklären sind. Die Erfahrung zeigt dann, daß die Vorstellung von der überwältigenden Mannigfaltigkeit der erzielten Formen sich in der Hauptsache von der Beobachtung solcher langsam arbeitender (oder durch Gelatinezusatz künstlich verlangsamter) Geißeln herleitet. Freilich ist gerade hier die Entscheidung, welcher Anteil an der Formveränderung aktiver Kontraktion zukommt und was lediglich Wirkungen des Widerstandes sind, im Einzelfall meist recht schwer zu treffen. — Die Bewegung erfolgt natürlich so, daß die Geißel vorangeht und den Körper nach sich zieht. Dabei rotiert auch der ganze Organismus um seine Achse, so daß die

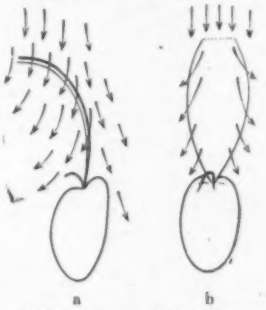


Fig. 2. Geißelbewegung bei *Monas vulgaris*.

Schwimmbahn meist eine Spirale darstellt. Auch das ist eine Folge des Wasserwiderstandes. Die rotierende Geißel ist ja an keinem festen Widerlager befestigt, und ein Teil des ihr entgegenwirkenden Widerstandes wird den Körper zu rückläufiger Rotation bringen. Je größer der Körper im Verhältnis zur Geißel ist, desto langsamer muß auch die Rotation sein; schließlich wirken Asymmetrien des Körpers dahin, daß die Rotationsachse vielfach außerhalb des Körpers zu liegen kommt. Fast alle Flagellaten bewegen sich in ähnlicher Weise, auch solche, die wie Chilomonas, Chlamydomonas, Ulothrix, Ulva usw. mehrere nach vorn gerichtete Schwingungsräume besitzen. Zu Umkehr der Bewegungsrichtung (also Schwimmen mit der Geißel am Hinterende) sind sie nicht oder nur ganz vorübergehend befähigt. Nur in seltenen Fällen ist die Schwimmgeißel wie bei den Spermatozoen der Wirbeltiere nach hinten gerichtet (so bei Chytridium vorax nach *Strasburger*). Bei mehrgeißeligen Objekten (Peredineen, Distomataceen) scheinen die nach rückwärts gerichteten (bisher höchstens als Steuer gedeuteten) „Schleppgeißeln" nach noch nicht abgeschlossenen Beobachtungen die Bewegung wenig-

stens unterstützen zu können. — Die Körperform der Flagellaten zeigt oft ausgesprochene Tendenz zu spiraliger Ausbildung, und es ist schon öfters darauf hingewiesen worden, daß damit ein Vorteil für die Erhaltung einer geradlinigen Schwimmbahn verbunden ist (bes. Euglena-Arten, Phacus longicanda usw.).

In ihrer ganzen Länge *aktiv* als Schraube wirksame Geißeln, wie sie der Theorie *Bütschlis* entsprechen, haben sich bisher nur bei Bakterien (Vibrionen, Chromatien) nachweisen lassen (*Buder, Metzner* 1920 a, c). *Chromatium Okenii* (Fig. 3) ist unipolar begeißelt und schwimmt in der Regel mit der Geißel am „hinteren" Pol. Die derbe und verhältnismäßig lange Geißel erscheint in der Ruhe als rechtläufige Schraube (im Sinne der Botaniker) von etwa 1—2 vollen Umgängen und behält diese Form auch während der Bewegung annähernd bei. Der Schwingungsraum ist glockenförmig und genau drehrund. Chromatium kann nun seine Bewegungsrichtung auf Reize hin umkehren, und zwar einfach dadurch, daß der *Drehungssinn* der Geißel „umgeschaltet" wird. Dann schwimmt also der Organismus mit der Geißel voran; der Schwingungsraum ist aber in diesem Fall kaum von dem „normalen" verschieden! Das ist nur dann möglich, wenn die Geißel in verhältnismäßig *starrer* Schraubengestalt rotiert. Die am lebenden Objekt erhalte-

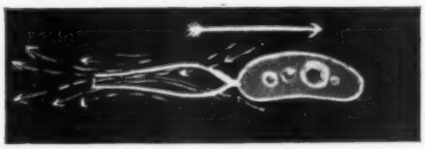
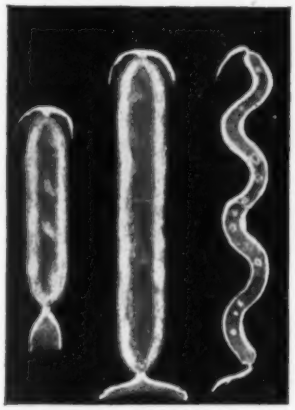


Fig. 3. *Chromatium Okenii* bei Dunkelfeldbeleuchtung (im Körper Schwefeltropfen).

nen Strömungsbilder decken sich auch aufs beste mit denen, die durch gleichgestaltete dünne Aluminiumdrähte erzeugt werden. Bei Chromatium läßt sich der Vorstellung *Bütschlis* nun auch eine morphologische Grundlage geben. *Buder* konnte nämlich wahrscheinlich machen, daß die „Geißel" der Chromatien in Wahrheit einen aus zahlreichen Einzelgeißeln fest verklebten „Geißelschopf" darstellt, dessen Elemente wie in einem Kabel verseilt sind. „Lassen wir in Gedanken eines der elastischen Elemente, die es zusammensetzen, sich kontrahieren, so wird das zuvor gestreckte Kabel die Gestalt einer Schraube annehmen, und es ist ohne weiteres einleuchtend, daß die Weite und Steilheit ihrer Windungen vor allem abhängig sind erstens von der Größe der Kontraktion, zweitens von dem Ausmaße der Torsion der Elemente im Kabel. Nehmen wir nun an, daß sich alle Elemente nacheinander in rhythmischer Folge kontrahieren und wieder ausdehnen, so wird die Kabelschraube rotieren und muß dabei die gleichen Erscheinungen zeigen, wie wir sie bei den Geißelschrauben der Chromatien erblicken." (*Buder* 1915 S. 551.) Es wird also vorausgesetzt, daß die Einzelgeißeln metachron arbeiten; die Bewegungsumkehr wird durch ein Umschalten des Metachronismus bewirkt.

Aus tauartig verseilten — aber nicht so fest verklebten — Einzelgeißeln sind auch die derben Geißelschöpfe der *Spirillen* gebildet. Der schraubenförmige Körper der Faulwasserspirillen trägt gewöhnlich an beiden Körperpolen je einen solchen Geißelschopf (Fig. 4 c). Bei der Bewegung werden infolge metachroner Kontraktion der Einzelgeißeln wiederum drehrunde Schwingungsräume umschrieben; bestimmend für deren Gestaltung sind vor allem hervorragende aktive Biegsamkeit des basalen Geißelabschnittes und die Wirkung des Wasserwiderstandes. Bei nor-



a *b* *c*

Fig. 4. *Spirillum volutans* bei Dunkelfeldbeleuchtung *a* und *b* während des Schwimmens, *c* ruhend.

malen schwimmenden Spirillen arbeiten *beide* Geißelbüschel in gleichem Sinn und, wie sich nachweisen läßt, auch mit gleicher Kraftentfaltung. Der jeweils vordere Schwingungsraum bildet eine nach hinten geöffnete breite Glocke, der hintere besitzt je nach dem physiologischen Zustand des Objektes breite oder schlanke Kelchform (vgl. Fig. 4 a, b). Reize werden mit Bewegungsumkehr durch gleichzeitiges „Umklappen" *beider* Schwingungsräume (Umschalten des Metachronismus der Einzelgeißeln) beantwortet. Der *mechanische Effekt* der Geißelbewegung ist bei Spirillen — abweichend von allen bisher besprochenen Fällen — vorwiegend in der Erzeugung der gegen die Geißeldrehung rückläufigen *Körperdrehung* zu sehen. Diese ist denn auch bei lebhaftem Schwimmen so rasch, daß die Konturen des Körpers ebenfalls in einem „Schwingungsraum" verschwinden. (Genauere Messungen zeigten, daß der Körper etwa 13 Umdrehungen in der Sekunde ausführt.) Infolge seiner spiraligen Form schraubt sich dabei der Körper in das

Wasser hinein und es liegt auf der Hand, daß die Gestalt der Körperschraube für den Wirkungsgrad dieser indirekten Fortbewegung maßgebend ist. Sowohl rechnerisch wie praktisch stellte sich heraus, daß die Verhältnisse am günstigsten sind, wenn der Steigungswinkel des spiraligen Körpers etwa 45—54° beträgt. Aber selbst dann entspricht die Bewegung keinem exakten „Einschrauben" wie in eine feste Mutter, denn das leichtflüssige Wasser wird zum Teil beiseite gedrängt. Es ergibt sich ein gewisser Verlust (bei der Schiffsschraube als Slip bezeichnet), der z. B. bei Spirillum volutans bei einem Steigungswinkel von 40° etwa 43% beträgt (d. h. bei 100 Körperumdrehungen wird nur ein Weg von 57 Ganghöhen der Körperschraube zurückgelegt). Die schnelle Rotation hat weiter automatisch eine *Stabilisierung* der Schwimmbahn zur Folge, um so mehr, je länger die Spirillen sind: längere Spirillen können daher nur *geradlinige* Schwimmbahnen verfolgen und sind zu *aktiver* Änderung ihrer Schwimmrichtung nicht befähigt. Nur ganz kurze Individuen können Abweichungen zeigen, die aber nur auf Asymmetrien des kurzen, der „Führung" ermangelnden Körpers beruhen, dessen Achse sich in solchen Fällen oft nicht genau in die Schwimmrichtung einstellt. — Im Verein mit der Zwangläufigkeit der Geißelbewegung ergibt sich somit eine weitgehende Beschränkung der Bewegungsmöglichkeiten, deren Kenntnis uns bei der Beurteilung der Reizbewegungen zustatten kommt.

b) Die rudernden Cilien.

Ruderbewegungen lassen sich zwar gelegentlich auch bei sonst „rotierenden" Geißeln von Flagellaten beobachten; regelmäßig finden sie sich aber nur dort, wo mehrere Cilien in mehr oder weniger engem Verbande arbeiten. Die Bewegung erfolgt hier pendelnd annähernd in einer *Ebene*, und wir können einen mechanisch wirksamen „*Schlag*", der von einem — meist langsameren, lässigen — *Rückschwung* gefolgt wird, unterscheiden. Der mechanische Effekt des Rückschwunges muß gegen den des „Schlages" klein sein, wenn eine einseitig gerichtete Ruderwirkung zustande kommen soll. Das kann auf verschiedenem Wege erreicht werden. Einmal dadurch, daß der „Schlag" *rascher* erfolgt als der Rückschwung. Der Widerstand des Wassers gegen die Bewegung und damit auch die mechanische Wirkung des Schlages steigt bei sonst gleichen Verhältnissen erfahrungsgemäß etwa mit dem Quadrat der Geschwindigkeit. Ist beispielsweise der Schlag in $^1/_3$ der Zeit des Rückschwunges vollendet, so verhalten sich die in der Zeiteinheit wirkenden (entgegengesetzten) Kräfte wie 9 : 1; unter Berücksichtigung des Umstandes, daß der Rückschwung die dreifache Zeit erfordert, finden wir, daß der Schlag dreimal so wirksam ist als der Rückschwung. Je größer der Geschwindigkeitsunterschied ist, desto günstiger gestaltet sich das Verhältnis. Die gleichen Überlegungen gelten auch für das synchrone oder metachrone Zusammenarbeiten vieler Wimpern. In der Tat lassen sich solche Geschwindigkeitsunterschiede oft beobachten, sowohl bei dem Wimperkleid und den Peristomwimpern vieler Infusorien (Vor- zu Rückschwung meist etwa 1 : 2) als auch bei den Wimperepithelien der Metazoen (nach *Kraft* z. B. bei der Rachenschleimhaut des Frosches 1 : 5). — Aber selbst bei *Gleichheit* der Zeiten für Vorschwung und Rückschwung kann eine Ruderwirkung stattfinden, wenn dafür gesorgt ist, daß der *Widerstand* während des Rückschwunges *geringer* ist. Bei bandförmigen Geißeln (also elliptischem Querschnitt) wird das der Fall sein, wenn der Schlag mit der Breitseite erfolgt, während beim Rückschwung die Schmalseite vorangeht. Mit Sicherheit ist ein solcher Bewegungsmodus noch nicht nachgewiesen. Dagegen findet sich oft eine Bewegungsform, die in Fig. 5 in verschiedenen Phasen dargestellt ist. Als Beispiel dient die Bewegung der Cilien der Spermatozoiden von Adiantum cuneatum. Während des Schlages (Phase 1—4) bleibt die Wimper ziemlich starr und bewegt sich hauptsächlich in der nächsten Nähe der Basis. Auch der Rückschwung macht sich hier zunächst bemerkbar (Phase 5—6); eine Kontraktionswelle läuft von der Basis distalwärts und zieht das *offenbar passiv nach-*

Fig. 5. Ruderschlag einer Cilie der Spermatozoiden von *Adiantum cuneatum*.

schleppende Ende in die Ausgangsstellung (etwa Phase 9) zurück. Während also während des *Vorschwunges* die Cilien *in ganzer Länge* wirksam war, wird hier durch Veränderung des Angriffswinkels eine *Widerstandsverminderung* erzielt. Diese Art der Ruderbewegung findet sich oft auch bei Objekten mit deutlich kürzerem „Schlag", scheint überhaupt am verbreitetsten zu sein.

Durch das Zusammenwirken vieler Wimpern werden auch die *Bewegungsmöglichkeiten* vervielfacht, immerhin sind durch die Koordination der Wimpern (die den Metachronismus beherrscht) gewisse Beschränkungen geschaffen. Es sind also nur eine begrenzte Anzahl von Bewegungen („Aktionen") möglich; sie sollen mit *Jennings* (1914) in ihrer Gesamtheit als Aktionssystem bezeichnet werden. Wir wollen nun kurz drei typische Fälle betrachten.

Am einfachsten liegen die Dinge wohl bei der von *Verworn* 1890 untersuchten kleinen Rippenqualle *Beroë ovata*. Hier finden sich — schon makroskopisch sichtbar — acht Längsreihen von Schwimmplättchen, die vom Sinnespol her symmetrisch über den Körper hinwegziehen. (Diese Schwimmplättchen bestehen zwar aus mehreren miteinander verklebten Wimpern, die

jedoch synchron schlagen, so daß die Bewegung des ganzen Gebildes der einer Einzelwimper gleichzusetzen ist.) Die Schwimmplättchen jeder Reihe schlagen metachron und in meridionaler Richtung. Bei gleichmäßiger Tätigkeit aller Schwimmplättchen muß der Organismus ohne Rotation in gerader Richtung (mit dem Sinnespol voran) fortbewegt werden; Hemmung irgendeiner Plättchenreihe hat eine Wendung der Körperachse nach der betroffenen Seite hin zur Folge. Am Sinnespol befindet sich ein Statolithenapparat, der durch Beeinflussung der Wimpertätigkeit auf diese Weise immer automatisch die normale Gleichgewichtslage (Körperachse senkrecht) wiederherstellt.

Unter den Infusorien ist *Paramaecium caudatum* besonders oft und eingehend studiert worden. Die zahlreichen Wimpern stehen in steil spiralig verlaufenden Reihen und schlagen auch metachron, wenngleich nicht so ausgeprägt, wie etwa die Peristomwimpern. Ihre Tätigkeit wird nach Untersuchungen von *Rees* durch ein gemeinsames „neuromotor center" geregelt, das sich in der Nähe des Zellmundes als Entoplasmaverdichtung nachweisen läßt und durch Fibrillensysteme mit den Cilienreihen in Verbindung steht. Der Schlag verläuft in der Regel in schräger Richtung zur Körperachse (etwa parallel den Wimperreihen). Die Bewegung erfolgt denn auch so, daß die Infusorien unter Rotation voranschwimmen; das Überwiegen der „bauchständigen" (oralen) Wimpern und die geringen Asymmetrien des Körpers haben zur Folge, daß die Rotationsachse nicht mit der Körperachse zusammenfällt. Die Schwimmbahn ist deshalb eine mehr oder minder gestreckte Schraubenlinie. Die Faktoren des Aktionssystems sind nach *Jennings* demnach: Vorwärtsbewegung, Umdrehung um die Längsachse, Abweichung nach der aboralen Seite. Jeder dieser Faktoren kann durch äußere Reize oder innere Anlässe modifiziert werden, ungleiches Arbeiten verschiedener Körperbezirke kann auch Wendungen verursachen, und es ergibt sich so eine große Mannigfaltigkeit von Bewegungsmöglichkeiten. Äußere Reize lösen aber in der Regel einen *bestimmten* Erscheinungskomplex aus, den *Jennings* als motor-reflex bezeichnet. Wir wollen ihn erst bei Besprechung der Reizbewegungen genauer betrachten.

An dritter Stelle sei die Bewegung der *Farnspermatozoiden* besprochen. Der Körper dieser Schwärmer stellt ein flaches, zu einer kegelförmigen Spirale aufgerolltes Band dar (vgl. Fig. 6). Die zahlreichen langen Wimpern sind nur auf die vorderen engen Windungen beschränkt und entspringen einem gemeinsamen Blepharoplasten, der an der oberen Kante des Spermatozoidkörpers verläuft. Nebenbei sei bemerkt, daß die Cilien erst in geringem Abstand von der Spitze beginnen und sich bei Adiantum cuneatum auf etwa 1½ Windungen verteilen. Das erweiterte Hinterende umschließt in der Regel ein wasserhelles Bläschen, in dem sich Stärkekörner finden. Es wird beim Eintritt in das Archegonium abgestreift und dient offenbar zur Ernährung während der Schwärmperiode. Die Bewegungen sind ziemlich rasch (in der Sekunde werden etwa 150—250 μ, also rund 10—15 Körperlängen zurückgelegt) und zeigen große Mannigfaltigkeit. Bereits *Nägeli* hat versucht, die Bewegung auf wenige Grundformen zurückzuführen. In typischen Fällen ist auch hier die Schwimmbahn eine *Spirale*, auch hier erfolgt bei der Bewegung eine Rotation des Körpers und eine seitliche Abweichung infolge geringer Asymmetrien. *Nägeli* vermutete damals, daß die Cilien die *Rotation* bewirken und daß der Körper sich vermöge seiner Spiralgestalt in das Wasser einbohre — etwa so, wie das oben für die Spirillen geschildert wurde. Neuere Erfahrungen (*Metzner* 1923) haben nun gezeigt, daß ein Einfluß der Körperform zwar vorhanden, aber in *anderer* Richtung zu suchen ist. Fig. 6 stellt ein Individuum von Adiantum cuneatum bei *raschem* Schwimmen dar, wie es bei Dunkelfeldbeleuchtung

Fig. 6. Spermatozoid von *Adiantum cuneatum* bei Dunkelfeldbeleuchtung.

erscheint. Wir sehen anscheinend zwei Gruppen von Wimpern: eine, deren basale Teile etwa horizontal abstehen, und eine zweite, die zurückgeschlagen fast dem Körper anliegt. Aber nur scheinbar, denn in Wahrheit haben wir nur die (wegen der Schnelligkeit der Bewegung gleichzeitig sichtbaren) *Grenzlagen* des Wimperschlages vor uns, der — auf die Abbildung bezogen — fast senkrecht von oben nach unten erfolgt (von NNW nach SSO). Der *Haupteffekt* ist demnach ein direkter *Vortrieb*, nur die geringere horizontale Komponente bewirkt die Körperdrehung. Durch Beobachtung der entstehenden Strömungen an Exemplaren, die (ohne geschädigt zu sein) an der Ortsbewegung verhindert waren, konnte das gleiche bestätigt werden. Die Drehung wird weiterhin unterstützt durch den Widerstand, den der Körper beim Voranschwimmen erfährt. (Ähnlich kommt ein dem Spermatozoid nachgebildetes Modell in Rotation, wenn es mit der Spitze voran durch das Wasser fällt oder an einem Faden gezogen wird.) Dementsprechend ist auch die Ro-

tationsgeschwindigkeit nur gering — es werden 4—5 Umdrehungen in der Sekunde ausgeführt. Die Bewegung der Cilien selbst wurde schon oben geschildert und verläuft streng metachron — die Impulse gehen vom Vorderende aus und wandern die ganze Cilienreihe entlang mit einer Geschwindigkeit von etwa 64—80 μ in der Sekunde. Es besteht Grund zu der Annahme, daß dies gleichzeitig die Geschwindigkeit der Reizleitung (im Blepharoplasten?) darstellt. Es leuchtet ein, daß Ungleichheiten des Cilienschlages auf verschiedenen Flanken zu einer Wendung nach der Seite der schwächer arbeitenden Wimpern hin zur Folge haben müssen; durch den exakt arbeitenden Metachronismus werden unter *normalen* Bedingungen solche Ungleichheiten verhindert.

(Schluß folgt.)

Was vermögen die radioaktiven Methoden der Altersbestimmung von Mineralien heute zu leisten[1])?

Von Gerhard Kirsch, Wien.

I.

Altersbestimmungen an Pechblenden.

Die beiden Elemente mit der höchsten Kernladungszahl, Uran und Thor, erleiden bekanntlich einen langsamen, spontanen, stufenweisen Zerfall. Derselbe führt beim Uran über 14 Stufen, von denen acht mit der Aussendung eines α-Teilchens (eines He-Atoms) verbunden sind, zu einem bleiartigen Endprodukt, dem Bleiisotop RaG mit dem Atomgewicht 206, beim Thorium über 10 Stufen, von denen sechs mit Abspaltung eines α-Teilchens oder He-Atoms verknüpft sind, zu dem Bleiisotop ThD mit dem Atomgewicht 208.

Die Ansammlung der Zerfallsprodukte Blei und Helium in den Thor und Uran enthaltenden Mineralien gibt uns ein Mittel an die Hand, das Alter des Minerals, d. h. die Zeit zu bestimmen, welche verstrichen ist, seit es in den festen Zustand gelangt ist. (Außerdem versuchte man noch Altersschätzungen von radioaktiven Mineralien nach der Intensität der Verfärbungen, die sie in ihrer Umgebung erzeugten, und die man mit künstlich erzeugten derartigen Verfärbungen verglich. Da diese Methode ihrem Wesen nach nicht sehr geeignet erscheint, exakte Resultate zu liefern, so soll heute von ihr nicht weiter die Rede sein.)

Die Ermittlung des Alters beispielsweise eines Uranminerals geschieht folgendermaßen: Man bestimmt den Gehalt der Probe an Uran und Blei. Das Blei kann natürlich zum Teile auch nicht radioaktiven Ursprungs sein. Da das gewöhnliche Blei das Atomgewicht 207,18 besitzt, während für RaG heute das Atomgewicht gewöhnlich zu 206,00 angenommen wird, kann man aus einer Atomgewichtsbestimmung des Pb der fraglichen Probe den Gehalt desselben an RaG berechnen. Zwecks Berechnung des Alters der Probe setzt man unter Verwendung des bekannten Zerfallgesetzes für die radioaktiven Substanzen:

$$\frac{\mathrm{RaG}}{\mathrm{U}} \cdot \frac{1}{0{,}87} = \frac{1-e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = e^{+\lambda t} - 1 \quad . \; . \; . \; (1$$

Durch Multiplizieren mit dem Faktor $\frac{1}{0{,}87}$, dem reziproken Verhältnisse der Atomgewichte von RaG und U, erhält man aus dem Gewichtsverhältnis dieser Elemente das Verhältnis der Atomzahlen, das man der Altersberechnung zugrunde legen muß. Formel (1) läßt sich umformen in:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{\mathrm{RaG}}{\mathrm{U}} \cdot \frac{1}{0{,}87} + 1\right)}{\lambda} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2$$

λ bedeutet die Zerfallkonstante des Urans und t die Zeit, die der Zerfall währte, also das Alter des Minerals.

Unseres Wissens ist bisher nur eine einzige Altersbestimmung eines Uranminerals veröffentlicht worden, bei der von derselben Probe Analyse und Atomgewichtsbestimmung des Pb durchgeführt und der Altersberechnung zugrunde gelegt wurden, dieselbe findet sich in der Monographie von *E. Gleditsch* über den *Bröggerit*. *Gleditsch* hat eine Probe Bröggerit aus der Gegend von Moß (Südnorwegen), 100 g Kristalle, analysiert. *T. W. Richards*, der amerikanische Atomgewichtsforscher, hat die Atomgewichtsbestimmung des Pb durchgeführt. Bei der Berechnung des RaG-Gehaltes aus demselben hat *Gleditsch* auch den geringen Thorgehalt und das von diesem herrührende ThD berücksichtigt und erhielt für das Alter ihrer Probe den Wert:

ca. 950 Millionen Jahre.

Eine Neuberechnung mit den derzeit anerkannten Daten für die Zerfallskonstante des Urans und Thoriums ergibt den Wert

895 Millionen Jahre.

Zu den anderen Atomgewichtsbestimmungen von *Richards* und seinen Mitarbeitern sind leider dazugehörige Analysen der bezüglichen Erzproben nicht veröffentlicht, so daß dieselben zu Altersberechnungen nicht verwendet werden konnten.

Auch *O. Hönigschmid* und *St. Horovitz* geben

---

[1]) Vortrag, gehalten am 4. Dezember 1922 in einer gemeinsamen Sitzung der Mineralogischen und Geologischen Gesellschaft in Wien.

Dieser Vortrag beabsichtigt nicht, einen vollständigen Überblick über die bisherigen Leistungen oder den gegenwärtigen Stand der Altersbestimmungsmethoden zu geben, wie etwa seinerzeit der vor fünf Jahren in dieser Zeitschrift erschienene Vortrag von *R. W. Lawson*, sondern will lediglich einiges Neues an Einzelergebnissen, Methoden und Gesichtspunkten sowie Kritisches zum Bisherigen geben, z. T. auf Grund eigener Arbeiten des Verf. Betreffs der physikalischen Fragen des genetischen Zusammenhangs zwischen Thor und Uran und der Halbwertszeit des Thoriums siehe Wiener Sitzungsberichte vom 19. Oktober 1922, Mitt. Ra. Inst. Nr. 150.

zu ihren Atomgewichtsbestimmungen an Pb aus Pechblende von St. Joachimstal, aus ostafrikanischer Pechblende, dem sogen. Morogoroerz, und aus Bröggerit von Moß leider keine Analysenziffern *ihrer Proben*, sondern zitieren nur die Analysenergebnisse anderer Autoren an Material aus den gleichen Gegenden und begnügen sich bezüglich ihrer Proben mit der Angabe des auf präparativem Wege extrahierten PbO-Gehaltes. Da das Institut für Radiumforschung in Wien von dem von *O. Hönigschmid* und *St. Horovitz* bearbeiteten Bröggerit und Morogoroerz noch einiges Material besaß, so verschaffte ich mir durch Analyse einer größeren Zahl von Einzelkristallen Kenntnis von der Zusammensetzung der Proben dieser Autoren und fand derartige Schwankungen in der Zusammensetzung von Stück zu Stück, daß es mir unstatthaft erscheint, einen Atomgewichtswert für Pb aus Pechblende ohne weiteres zwecks Altersbestimmung mit dem Analysenresultat eines anderen Autors vom gleichen Fundort zu kombinieren.

Für die *Joachimstaler Pechblende* erhielt ich durch Kombination sämtlicher mir zugänglichen wissenschaftlichen Pechblendeanalysen von diesem Fundort mit *Hönigschmids* Atomgewichtswert ein Alter von

207 Millionen Jahren,

für das *Morogoroerz* durch Kombination des Mittels meiner Analysen an *Hönigschmids* Material mit seinem Atomgewichtswert das Alter von

605 Millionen Jahren.

Auf die Ergebnisse am Bröggerit von Moß soll später noch eingegangen werden.

Wir wollen nun dazu übergehen, die absolute Genauigkeit der hier angewendeten Altersbestimmungsmethode, also z. B. obiger Ziffern, zu besprechen.

Von den in der Formel (2) vorkommenden Größen sind die Werte für den analytisch ermittelten Urangehalt und die Werte für die Atomgewichte von RaG und U genauer als auf ein Prozent bekannt. Die Zerfallskonstante des Urans, λ, ist berechnet aus der Zerfallskonstante des Ra, die ihrerseits wiederum aus der sekundlich emittierten Zahl α-Partikel $(3{,}72 \pm 0{,}02) \cdot 10^{10}$ und der Loschmidtschen Zahl ermittelt ist, und dem Verhältnis der Gleichgewichtsmengen Ra : U in den Pechblenden: $3{,}33 \cdot 10^{-7}$, die beide als auf ein Prozent genau angesehen werden dürfen. Sollte sich herausstellen, daß das Uran kein einheitliches Element ist und vielleicht seinem Atomgewicht entsprechend ca. 15 % Aktiniumuran vom Atomgewicht 239 enthält, so ändert dies in erster Ordnung an dem Resultat der Altersbestimmung nichts, da die Fehler durch Einsetzung einer falschen Ziffer für den Gehalt an Ra-Uran bei Berechnung des Verhältnisses RaG : U einerseits und der Zerfallskonstanten des U andererseits sich gegenseitig aufheben.

Nur über die Genauigkeit, mit der das letzte noch nicht diskutierte Datum: der RaG-Gehalt, bestimmt werden kann, können die Meinungen noch auseinandergehen. Denn der Prozentsatz des gefundenen Bleis an RaG wird ja aus dem gefundenen Atomgewichte desselben berechnet unter Einsetzung der bekannten Atomgewichtswerte für Pb und RaG. Berechnet man den letzteren aus dem Atomgewicht des Ra (225,97) durch Abzug des Gewichtes von 5 α-Partikeln samt emittierter Energie, so erhält man den Wert 205,94 für das Atomgewicht von RaG und kann demselben die gleiche Genauigkeit zubilligen wie dem von *O. Hönigschmid* bestimmten Atomgewichte des Ra, d. i. ca. 0,01 Atomgewichtseinheit. Da die Differenz der Atomgewichte von RaG und Pb commune mehr als eine Atomgewichtseinheit beträgt und die Bestimmung des Atomgewichtes irgendeiner Bleiprobe aus Pechblende ebenfalls auf 0,01 genau durchzuführen ist, so ist also einer so berechneten Ziffer für das *Alter* einer Pechblendeprobe resp. einer geologischen Formation eine *Genauigkeit* bis auf *ein Prozent* zuzusprechen.

Berücksichtigt man dagegen, daß das Atomgewicht der Aktiniumreihe und ihres Endproduktes noch unbekannt ist, dann ist der oben gegebene Atomgewichtswert für Ra 205,94 als Minimalwert und der niedrigste an Pb aus Pechblende gefundene Wert 206,04 (Morogoroerz) als Maximalwert aufzufassen. Wir haben oben bei unseren Berechnungen das Atomgewicht des RaG zu 206,00 angenommen und beanspruchen dementsprechend für die Genauigkeit unserer oben gegebenen Altersziffern bis auf etwa 5 %.

Abgesehen von dieser ziffernmäßigen Genauigkeit ist natürlich die Gewißheit, ein brauchbares Resultat vor sich zu haben, noch abhängig von dem Grade von Gewißheit, mit dem man es mit einem sicher unverwitterten primären Mineral zu tun hat. Weder die Konstanz des RaG : U-Verhältnisses, geschweige denn die Konstanz des Pb : U-Verhältnisses von einigen Stücken desselben Fundortes, noch die Tatsache, daß das Atomgewicht des Pb auf reines RaG hinweist, vermag für sich allein eine Gewähr hierfür zu bieten. Um für letzteres ein Beispiel zu geben: die gegenwärtig in Katanga (Kongo) abgebauten, sicher sekundären meist phosphatischen Uranerze enthalten bis 30 % Pb, das nach *O. Hönigschmids* Atomgewichtsbefund nahezu reines RaG darstellt. Es ergibt sich hier die interessante Tatsache, daß bei der Bildung ausgedehnter sekundärer Lagerstätten von Uran infolge der geringeren Löslichkeit des Pb, wahrscheinlich in kohlensäurehaltigen Wässern, dieses verhältnismäßig stark angereichert wurde, ohne daß gewöhnliches Blei irgendwelche Gelegenheit fand, sich hierbei zu beteiligen. Dies erlaubt wohl in dem vorliegenden Fall für die primäre Pechblende des Fundortes, von der Oberbergrat *C. Ulrich* eine Analyse ausführte, anzunehmen, daß sie ebenfalls frei von gewöhnlichem Pb ist, und damit in diesem Falle

ohne Atomgewichtsbestimmung des Pb aus der Pechblende einen Schluß auf das Alter derselben aus dem Pb : U-Verhältnis zu machen. Dieses ergibt sich nach *Ulrichs* Analyse zu 0,076, was einem Alter von ca.

550 Millionen Jahren

entspricht. Da es sich, nach der Zusammensetzung der Pechblende und ihrem Aussehen, es handelt sich um ein derbes Stück, wahrscheinlich um eine wässerige Bildung analog, wie in Joachimstal, handelt, so bedeutet das angegebene Alter für die Enstehung der Intrusivformation, der die Pechblende entstammt, einen Minimalwert.

II.

Das Alter der Ceyloner Thorianite; die Zerfallskonstante des Thoriums.

Alles, was oben über Altersbestimmung bei Uranmineralien gesagt wurde, gilt mutatis mutandis natürlich auch für die Thormineralien. Zwei Dinge sind es aber, welche es bisher bei solchen tatsächlich nicht zu einer derartigen Anwendung kommen ließen.

Erstens ist die Halbwertszeit des Thoriums etwa 4mal so groß, wie die des Urans; infolgedessen können beispielsweise 4 % Th in einem Uranmineral vernachlässigt werden, ohne einen Fehler, der größer wäre als 1 %, zu verursachen, weil das Th zu dem bleiartigen Endprodukt nur einen Beitrag von ca. 1 % liefert; umgekehrt kann aber in einem Th-Mineral eine Beimischung von auch nur 1 % U nicht mehr vernachlässigt werden, weil dieses 1 % U bereits etwa 4 % zu den bleiartigen stabilen Zerfallsprodukten beiträgt. Uranarme und praktisch uranfreie Thormineralien sind aber verhältnismäßig noch seltener als thorarme und thorfreie Uranminerale. Die den kristallisierten Pechblenden entsprechenden Thorianite z. B., die überhaupt viel weniger verbreitet zu sein scheinen als jene, enthalten mindestens 9 % U.

Zweitens ist die Halbwertszeit des Thoriums bis jetzt nur relativ ungenau bekannt gewesen, schwankten doch die Angaben verschiedener Autoren zwischen 1,3 und 2,2 · 10^{10} Jahren, so daß an eine genaue Altersbestimmung von Thormineralien, ähnlich wie bei den Uranmineralien, nicht zu denken war.

Die Atomgewichtsbestimmung von *O. Hönigschmid* an Blei aus Ceyloner Thorianitproben ermöglichte es uns infolge eines besonders glücklichen Zufalls hier sowohl über die Halbwertszeit des Thoriums, als auch weiterhin über das Alter dieser Minerale volle Klarheit zu schaffen; wir gehen daher sofort zur Besprechung der Verhältnisse bei diesen *gemischten Thorium-Uran-Mineralien* über.

In folgender Tabelle sind in den ersten 4 Zeilen die Resultate von Untersuchungen *O. Hönigschmids* an 3 Ceyloner Thorianiten wiedergegeben.

Wir machen zunächst bei jedem einzelnen Thorianit für sich die Annahme, er enthalte kein

Tabelle I.

Untersuchung von drei Ceylon-Thorianiten.

Thorianit	I	II	III
1. Th-Gehalt	68,9	62,7	57,0
2. U-Gehalt	11,8	20,2	26,8
3. Pb-Gehalt	2,3	3,1	3,5
4. At.-Gew. des Pb	207,21	206,91	206,84
5. RaG/Pb-Verhältnis	39,5 %	54,5 %	58,0 %
6. RaG/U-Verhältnis	0,077	0,084	0,076
7. ThD/Th-Verhältnis	0,020	0,0225	0,026
8. *RaG/U : ThD/Th* $= \lambda_U : \lambda_{Th}$	*3,7*	*3,6*	*2,8*
9. RaG/U (Alter in 10^6 Jahren)	0,077 (550)	0,079 (560)	0,058 (420)
10. RaG/U (Alter in 10^6 Jahren)	0,06 (400)	0,084 (600)	0,061 (440)

gewöhnliches Blei; wir erhalten dann die Zeile 5 gegebenen Werte für den RaG-Gehalt aus der Atomgewichtsziffer, weiters die Zeile 6 gegebenen RaG/U-Verhältnisse, die für alle drei Thorianite auf die gleiche Größenordnung des Alters hinweisen würden, die etwa gleich der des Morogoroerzes wäre. Die ThD/Th-Verhältnisse sind aber den RaG/U-Verhältnissen auch nicht annähernd proportional und darum ergibt sich auch die Größe $\lambda_U : \lambda_{Th}$ aus den 3 Thorianiten nicht als gleich[2]). Daher kann die Annahme, sie seien frei von gewöhnlichem Blei, nicht zutreffen.

Wir fassen zunächst den Thorianit I ins Auge, dessen Bleigehalt beinahe das Atomgewicht von gewöhnlichem Blei aufweist. Hätten wir einen Thorianit vor uns, dessen Blei genau das Atomgewicht 207,18 hätte, so vermöchte uns derselbe über sein Alter aus den Ziffern seiner Zusammensetzung heraus gar nichts zu sagen, auch wenn wir das Verhältnis $\lambda_U : \lambda_{Th}$ ganz genau kennen würden; er würde uns nur mit unbedingter Gewißheit angeben, daß RaG und ThD in ihm auf jeden Fall in dem Verhältnis anwesend sind, daß das Gemisch beider das Atomgewicht 207,18 besitzt. Betrachten wir die Atomgewichte von RaG und ThD als gegeben, so ist damit ihr Mengenverhältnis gegeben. Nimmt man das bekannte Th/U-Verhältnis dazu, so erhält man auf diesem Wege eine unbedingt sichere Kenntnis von der Lebensdauer des Thoriums, die des Urans als bekannt vorausgesetzt.

Diese Methode zur Ermittlung der Lebensdauer des Thoriums hat also die Kenntnis des Mengenverhältnisses von RaG und ThD zur Voraussetzung. Diese Voraussetzung ist aber bei Thor-Uran-Mineralien nur dann erfüllt, wenn die Beimischung von gewöhnlichem Blei belanglos

[2]) Bei Berechnung der Werte in Zeile 8 sind nicht mehr die Gewichte, sondern bereits die Atomzahlen zugrunde gelegt.

wird, da wir von dem Ausmaße dieser Beimischung keine Kenntnis erlangen können, solange das Verhältnis von RaG : ThD noch unbekannt ist, das ja eben erst bestimmt werden soll.

Die erwähnte Vorbedingung, daß ein Gehalt von gewöhnlichem Blei für die Kenntnis des Mengenverhältnisses RaG : ThD belanglos wird, ist nun beim Thorianit I sehr angenähert erfüllt. Würden wir z. B. annehmen, ein Viertel des Bleies sei Pb commune, so würde das Atomgewicht des übrigen Gemisches von RaG und ThD dadurch sich nur um 0,01 erhöhen, da ja das gefundene Atomgewicht 207,21 nur um 0,03 sich von dem des Pb commune entfernt. Eine noch größere Beimischung von Pb commune anzunehmen, ist nicht plausibel, wie wir sehen werden. Die beiden extremen Annahmen: Abwesenheit von gewöhnlichem Blei und Anwesenheit zu ca 25 % sind, wie sich zeigen wird, etwa gleich wahrscheinlich. Auf Grund der beiden Annahmen berechnet sich unter Berücksichtigung der Atomgewichts-Differenzen von Th, U usw. das Verhältnis $\lambda_U : \lambda_{Th}$ zu resp. 3,70 und 3,62, im Mittel $3{,}66 \pm 0{,}04$, ($\pm$ 0,11 unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen der Atomgewichtsbestimmung).

Hieraus ergibt sich für das Thorium:

$T = (1{,}65 \pm 0{,}05) \cdot 10^{10}\,a = 5{,}22 \cdot 10^{17}$ sec

$\tau = 2{,}37 \cdot 10^{10}$ Jahre $= 7{,}53 \cdot 10^{17}$ sec

$\lambda = 4{,}20 \cdot 10^{-11}$ reziproke Jahre $= 1{,}32 \cdot 10^{-18}$ sec^{-1}

Bei Einsetzung der Fehlergrenzen wurde die Genauigkeit der Atomgewichtsbestimmung auf 0,01 angenommen. Freilich hängt ja der hier gegebene Wert auch von den angenommenen Werten der Atomgewichte der Endprodukte der radioaktiven Reihen ab. Betrachtet man diese als unsicher, so geht die entsprechende Unsicherheit auch in obiges Resultat ein. Jedenfalls aber dürfte dasselbe der derzeit wahrscheinlichste Wert für die fraglichen Größen sein.

Vom Thorianit I können wir also über das Alter nichts Bestimmtes aussagen. Der Thorianit II dagegen hat ein Atomgewicht des RaG-ThD-Gemisches, das gegen Beimischung von gewöhnlichem Blei schon ziemlich empfindlich ist. Nehmen wir das $\lambda_U : \lambda_{Th}$-Verhältnis, wie es sich aus dem Thorianit I unter Annahme der Abwesenheit von gewöhnlichem Blei ergibt, und berechnen damit den RaG-Gehalt des Thorianit II, so erhalten wir ein Alter von ca. 560 Millionen Jahre für diesen Thorianit, also ungefähr dasselbe Alter wie für den Thorianit I. Der Thorianit III auf dieselbe Art berechnet, weist eine bedeutende Beimischung von gewöhnlichem Blei auf und ergibt ein bedeutend geringeres Alter: ca. 420 Millionen Jahre. Die Resultate dieser Berechnungsweise sind in Zeile 9 der Tabelle enthalten.

Die Annahme, daß der Thorianit I ca. ein Viertel gewöhnliches Blei enthält, also bedeutend jünger und etwa gleichalterig mit dem Thorianit III sei, und somit auch die Annahme eines etwas kleineren $\lambda_U : \lambda_{Th}$-Verhältnisses, ändern für die Thorianite II und III die Werte der RaG/U-Verhältnisse und der Alter nur geringfügig. Die Resultate enthält Zeile 10 der Tabelle.

Kurz zusammengefaßt läßt sich also aus den Analysenziffern und Atomgewichtswerten der drei Thorianite berechnen: Aus dem Thorianit I — kein Alter, aber ein je nach der willkürlichen Annahme über das Alter innerhalb relativ enger Grenzen sich bewegender Wert für das $\lambda_U : \lambda_{Th}$ Verhältnis; aus dem Thorianit II — ein entsprechend den Grenzwerten des $\lambda_U : \lambda_{Th}$-Verhältnisses innerhalb enger Grenzen schwankendes Alter von 560 bis 600 Millionen Jahre. Aus dem Thorianit III — ein ebenfalls innerhalb enger Grenzen schwankendes, bedeutend geringeres Alter von 420 bis 440 Millionen Jahre. — *O. Hönigschmids* Analysen haben also das zweifellose Vorhandensein zweier Thorianitvorkommen in den Ceyloner Pegmatitgängen aufgezeigt, die sich um ca. 150 Millionen Jahre im Alter unterscheiden.

Wir wollen nun noch die in *C. Dölters Handbuch der Mineralchemie* zusammengestellten Thorianitanalysen einer kurzen Betrachtung unterziehen. Hierbei berechnen wir unter der Annahme, sämtliches Blei sei radioaktiven Ursprungs, das RaG/U - Verhältnis [= Pb/(U + 0,273 Th)] und erhalten so für dasselbe:

Tabelle II.

Analyse Nr.	RaG/U	Analyse Nr.	RaG/U
1.	0,0778	11.	0,0775
2.	0,0927	12.	0,0601
3	0,0758	13.	0,1066
4.	0,0591	14.	0,0758
5.	0,0567	15.	0,0797
6.	0,0536	16.	0,0759
7.	0,0533	α)	0,0836
9.	0,0733	β)	0,0821
10.	0,0692	γ)	0,0797

(Die Bezeichnung der Analysen ist dieselbe wie in *Dölters* Handbuch, dem RaG/U-Verhältnisse 0,01 entsprechen ca. 65 Millionen Jahre.)

In Fig. 1 sind diese Werte graphisch dargestellt. Die beiden durch Klammern bezeichneten Intervalle bezeichnen die Bereiche in die *Hönigschmids* Thorianit II resp III hineinfallen müssen.

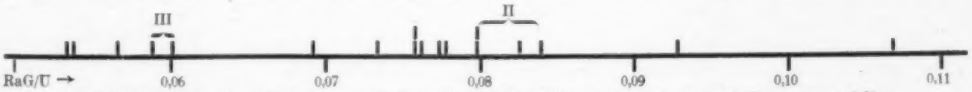


Fig. 1 zeigt, wie die Thorianite, nach dem RaG/U-Verhältnis geordnet, in zwei Gruppen zerfallen.

Aus der Fig. 1 ist mit einiger Reserve der Schluß zu ziehen, daß es zwei getrennte Perioden waren, in denen Thorianitbildung erfolgte und aus denen *Hönigschmids* Thorianit II und III je einen Re-

präsentanten darstellen. Ferner möchten wir noch darauf hinweisen, daß die Analysen 6 bis 10 alle an einem Kristallklumpen von *Galle* ausgeführt sind; trotzdem weisen sie ein *sehr stark* schwankendes Pb/(U + 0,27 Th)-Verhältnis auf. Da es wohl als ausgeschlossen angesehen werden darf, daß die verschiedenen Teile des Kristallklumpens nicht gleichen Alters seien, so muß man wohl annehmen, daß der Gehalt an gewöhnlichem Blei, der also schon bei der Bildung des Minerals mit einging, sich von Stück zu Stück so stark ändern kann, auch wenn die Stücke gleichzeitig und in unmittelbarer Nachbarschaft voneinander gebildet wurden. Allerdings machen wir hierbei die Annahme, daß es sich um einen Klumpen miteinander verwachsener Kristalle und nicht etwa um einen durch Verkittung auf sekundärer Lagerstätte entstandenen „Kristallklumpen" handelt.

Wir möchten hier noch ein Beispiel dafür geben, wie durch Zusammenfassung von Altersbestimmungen von Mineralien Ergebnisse gezeitigt werden können, die für die Geologie von bedeutendem Interesse werden können. Wir haben nunmehr aus dem Gebiete der ehemaligen afrikanisch-indisch-australischen Tafel das Alter einiger Granitintrusionen kennen gelernt, u. zw. das Alter der Gänge von Morogoro in Ostafrika zu ca. 600 Millionen Jahren, das Alter der Intrusion von Katanga zu mindestens 550 Millionen Jahren, von Ceylon wahrscheinlich zwei verschiedenen Perioden angehörende Pegmatitgänge mit den beiläufigen Altern 430 und 580 Millionen Jahre. Schließlich liegt noch eine Analsye einer australischen Pechblende vor mit dem Pb/U-Verhältnis 0,085. *Wenn* dieselbe keine wesentliche Menge gewöhnliches Blei enthält, so würde sie ebenfalls ein Alter von 600 Millionen Jahren haben. Abgesehen also von der einen jüngeren Intrusionsperiode von Ceylon, fallen die übrigen 4, die wir aus dem ehemaligen Kontinent Gondwanaland kennen gelernt haben, alle zeitlich nahe zusammen in die Zeit von 550 bis 600 Millionen Jahre vor der Gegenwart, also wahrscheinlich in *eine* geologische Epoche. Es liegt nahe, zu fragen, mit welchem geologischen Ereignisse größten Stiles das dieser Kontinent erlebte, die Bildung der erwähnten Granitintrusionen verknüpft war, — eine Frage, die zu beantworten wir dem Geologen von Fach überlassen müssen. —

Auf das, was durch Analyse von Thoriten zutage gefördert werden kann, wollen wir heute nicht näher eingehen und nur erwähnen: Thorit (und Orangit) ist ebenso wie die übrigen Minerale der Zirkongruppe — Calciothorit, Eukrasit, Freyalith — mit Ausnahme des Zirkons selbst, ein Mineral, das entweder bedeutend jünger als das Ganggestein ist, oder doch fast nie seinen ursprünglichen Substanzbestand erhalten hat. Unter vier Thoriten und zwei Orangiten vom Langesundfjord, die *R. W. Lawson* untersuchte, war nur ein einziger Thorit, dessen Pb/(U + 0,27 Th)-Verhältnis einigermaßen dem Durchschnitt der übrigen, primären Mineralien vom gleichen Fundort gleichkommt, während die anderen auf ein fast um eine Größenordnung geringeres Alter hinweisen. Nur aus einer größeren Zahl von Analysen ließe sich daher aus Thoriten mit einiger Wahrscheinlichkeit ein Minimalwert des Alters der Formation ableiten.

III.

Der genetische Zusammenhang zwischen Uran und Thor; ein neues Kriterium für Altersbestimmungen.

Wir gehen nun zu etwas anderem über und werfen die Frage auf, ob nicht das Th eine Muttersubstanz in der U-Plejade besitzt, aus der es durch α-Strahlung entsteht. Nach seinem Atomgewicht würde ein solches Thoriumuran (ThU) zwischen U I und U II stehen und sollte eine Halbwertszeit von etwa 10^8 Jahren haben.

Es wird angenommen, daß das Uran *ebenso wie alle anderen Elemente*, deren Werden nicht noch wie bei den radioaktiven Elementen im Fluß ist, auf der ganzen Erde das gleiche Atomgewicht hat, d. h. überall den gleichen Prozentsatz aller Uranisotopen enthält. Haben diese Isotopen verschiedene Lebensdauer, so ändert sich die Zusammensetzung des Urans *bloß mit der Zeit*. Sein Gehalt an ThU muß sich im Laufe der geologischen Entwicklung nach dem bekannten Zerfallsgesetz geändert haben. Diejenigen Uranerze nun, von denen man infolge ihrer Reinheit annehmen kann, daß sie bei ihrer Entstehung primär kein Thor aufnahmen, müssen heute so viel Thor enthalten, als das Uran bei der Entstehung des Erzes ThU enthielt. Ihr Thorgehalt, genauer ihr Th/U-Verhältnis, muß also mit ihrem Alter gesetzmäßig zusammenhängen.

Als wir uns angesichts dieser Überlegungen das erstemal nach geeigneten Uranmineralien umsahen, an denen dieselben auf ihre Stichhältigkeit geprüft werden konnten, sprangen sofort die Verhältnisse bei den drei von *O. Hönigschmid* und *St. Horovitz* im Jahre 1914 bearbeiteten Erzen in die Augen.

	Es beträgt beim		
	St. Joachimstaler Erz	Morogoro-erz	Bröggerit
nach den genannten Autoren der Gehalt an PbO	2,6 % (RaGO 1,6 %)	6 %	8,5 %
nach St. Meyer der Gehalt an Th ca.	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$

Rechnet man entsprechend den mittleren U-Gehalten die RaG/U-Verhältnisse aus und bedenkt, daß einer Änderung dieses Verhältnisses um 0,01 rund $7 \cdot 10^7$ Jahre Altersunterschied entsprechen, so sieht man sofort, daß bei diesen drei Erzen sich auf Grund der Annahme, der Thor-

gehalt sei radioaktiven Ursprungs, tatsächlich die erwartete Größenordnung der Halbierungszeit des ThU ergibt.

Wir stellen nun zunächst alle uns bekanntgewordenen Analysen des Bröggerits von *Moß* und *Raade* in Norwegen zusammen (Tab. III).

Tabelle III.

Analysenergebnisse fremder Autoren an Bröggerit von Moß. (Es sind nur die Daten für die Bestandteile U, Th und Pb angegeben, die allein hier von Interesse sind.)

	Fundort	Autor	% U	% Th	% Pb	Th/U	Pb/U
1.	Annerödit	*C. Blomstrand*	15,0	2,08	2,2	0,139	0,146
2.	Bröggerit von Skraatorp	*W. F. Hillebrand*	65,2	7,9	8,8	0,121	0,135
3.	Elvestad	„	65,8	7,46	9,3	0,113	0,141
4.	Raade	*E. Gleditsch*	61,67	6,30	8,64	0,102	0,140
5.	„	„	63,4	6,35	8,88	0,100	0,140
6.	„	„	66,1	6,40	9,25	0,097	0,140
7.	„	„	64,4	5,86	8,93	0,091	0,139
8.	Elvestad	*W. F. Hillebrand*	57,0	5,10	8,0	0,089	0,140
9.	Hyggenäskilen	„	67,8	5,80	8,8	0,086	0,130
10.	Anneröd	„	66,0	5,28	8,4	0,080	0,127
11.	„	*C. Blomstrand*	68,4	4,95	7,7	0,072	0,113
12.	„	„	69,5	4,95	7,8	0,071	0,112
13.	Moß	*K. A. Hoffmann*	67,1	4,63	8,49	0,069	0,126
14.	„	*u. W. Heidepriem*	67,4	4,10	8,63	0,061	0,128

Eine möglichst genaue Berechnung dieser Halbierungszeit aus den Daten betreffs des St. Joachimstaler Erzes, soweit sie die Literatur bietet, zusammengenommen mit den Daten über das Morogoroerz, samt unseren eigenen Analysen über dieses letztere (ausgeführt an demselben Material, das auch *O. Hönigschmid* verwendete) liefert:

das Alter des Morogoroerzes ..... $605 \cdot 10^6$ Jahre
das Alter der St. Joachimstaler Pechblende $207 \cdot 10^6$ „
die Differenz.. $398 \cdot 10^6$ Jahre

Das Verhältnis ThU/U zur Zeit der Bildung des Morogoroerzes ..... $4{,}05 \cdot 10^{-3}$
Das Verhältnis ThU/U zur Zeit der St. Joachimstaler Pechblende ..... $5{,}15 \cdot 10^{-5}$
den Quotienten.. 78,0

78 ist gleich $2^{6,29} \cdot 398$ Millionen Jahre sind also 6,29 ThU-Halbierungszeiten. Hieraus ergibt sich für das ThU:

$$T = 63{,}2 \cdot 10^6 \text{ Jahre.}$$

Die Daten über das Morogoroerz zusammengenommen mit denen der Bröggeritproben von *E. Gleditsch* und *T. W. Richards* ergibt:

Das Alter des Bröggerits ..... $895 \cdot 10^6$ Jahre
„ „ „ Morogoroerzes ..... $605 \cdot 10^6$ „
Differenz.. $290 \cdot 10^6$ Jahre

Das Verhältnis ThU/U zur Zeit der Bildung des Bröggerits 0,102
das Verhältnis ThU/U zur Zeit der Bildung des Morogoroerzes 0,00405
den Quotienten.. 25

25 ist gleich $2^{4,64}$. 290 Millionen Jahre sind also gleich 4,64 ThU-Halbierungszeiten. Hieraus ergibt sich für das ThU ebenfalls:

$$T = 62{,}6 \cdot 10^6 \text{ Jahre.}$$

Weggelassen ist nur die älteste Analyse von *Lorenzen*, der einen ungewöhnlich hohen U-Gehalt und kein Thor fand, ein Ergebnis, das nie bestätigt werden konnte.

Schon aus dieser Tabelle ist ein auffälliger Gang des Pb/U-Verhältnisses mit dem Th/U-Verhältnis erkennbar. In der Fig. 2 sind diese Ana-

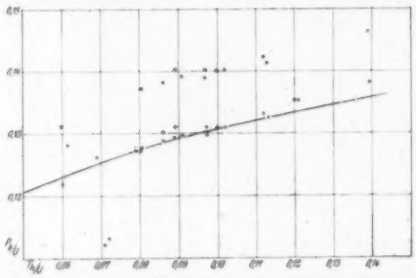


Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit des Thorgehaltes (genauer des Th/U-Verhältnisses) vom Pb/U-Verhältnis (also vom Alter) bei den Bröggeriten von Moß.

lysenresultate durch Ringe zur Darstellung gebracht. Bei Nr. 4 bis 7 handelt es sich um die Zusammensetzung größerer Mengen des Minerals, ohne daß spezielle Lokalitäten als Fundorte angegeben werden (also *möglicherweise* um Durchschnittsproben, die nicht von einer einzigen Lokalität stammen), bei den übrigen aber nur um Einzelkristalle.

Teils um das Vorhandensein einer Abhängigkeit zwischen Pb/U- und Th/U-Verhältnis sicherzustellen, teils um eventuell auch *Hönigschmid* und *Horovitz*' Atomgewichtsziffern für Bei aus Bröggerit (206,06) in der Frage des ThU ver-

wenden zu können, haben wir auch vom Bröggeritmaterial dieser Autoren einige Einzelkristalle analysiert (Tab. IV).

Tabelle IV.

Analysen des Verf. am Bröggerit von Moss. (Auch hier sind nur die Daten für U, Th und Pb angegeben, die allein hier von Interesse sind.)

% U	67,26	68,93	67,05	67,37	66,10	65,31	65,87	64,88
% Pb	9,28	9,03	9,31	9,22	8,39	9,25	8,91	8,38
% Th	5,80	4,13	6,51	5,47	5,22	7,36	7,90	5,79
Pb/U	0,138	0,131	0,139	0,137	0,127	0,142	0,135	0,129
Th/U	0,086	0,060	0,098	0,081	0,079	0,112	0,120	0,089

Diese Ergebnisse sind in der Figur durch Vollkreise dargestellt. Die ausgezogene Linie gibt die von uns geforderte theoretische Abhängigkeit zwischen Pb/U- und Th/U-Verhältnis. Die vorliegenden Tatsachen widersprechen der Annahme eines solchen Zusammenhanges nicht, sondern stützen dieselbe aufs beste, wenn man einmal von den beiden Analysen von *Blomstrand* absieht und zweitens beachtet, worauf auch schon *E. Gleditsch* hingewiesen hat, daß die Gesamtheit ihrer und *Hillebrands* Analysen die Annahme nahelegt, daß die untersuchten Bröggeritproben aus der Gegend von Moß in zwei Gruppen zerfallen, von denen die eine bei ihrer Entstehung absolut bleifrei war, die andere aber eine bestimmte für alle Proben gleiche Menge gewöhnliches Blei enthielt. In der Tat, setzt man die Analysenpunkte von *Hillebrand* und *Gleditsch*, die das annähernd gleiche Pb/U-Verhältnis aufweisen, wie der, dessen Blei von *Richards* und *Wadsworth* auf Gehalt an RaG geprüft wurde (Analyse 4 der Tabelle), um den gleichen Betrag (6,0 %) herab (in der Figur durch + bezeichnet), wie es für diesen letzteren nach dem Atomgewichtsbefund gefordert werden muß, so fallen sie mit den übrigen so genau in eine Linie, wie dies mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Analysenmethoden nur gefordert werden kann. Und die Lage sowohl als auch die Neigung dieser Kurve ist mit der Annahme eines teilweisen Zerfalles des U zu Th mit der oben errechneten Periode in bester quantitativer Übereinstimmung.

Infolge dieser Verhältnisse können wir daher der sog. Pb-Methode der Altersbestimmung die Thoriummethode, wie wir sie nennen wollen, an die Seite stellen, deren Anwendbarkeit allerdings eine beschränktere ist, weil nicht jede Pechblende so rein ist, daß sie primär kein Thor enthielt, und wir noch kein Mittel — wie beim Pb die Atomgewichtsbestimmung — kennen, durch das man primär vorhandenes von sekundär entstandenem Th unterscheiden könnte. Das Atomgewicht des gewöhnlichen Th, 232,12, läßt es allerdings als möglich erscheinen, daß das gewöhnliche Th ein Isotopengemisch ist, aus dem Isotop mit dem Atomgewicht 232,0 und einem mit höherem Atomgewicht, und damit wäre es allerdings möglich, auch hier wie beim Blei eine Entscheidung über die Herkunft des Thoriums zu treffen, da das Thorium radioaktiven Ursprungs nur aus dem ersteren Isotop bestehen sollte.

Da die Wahrscheinlichkeit, daß es sich um Thorium radioaktiven Ursprungs handelt, einstweilen nur nach einer Altersbestimmung des fraglichen Vorkommens nach der Bleimethode erschlossen werden kann, so ist klar, daß die Thoriummethode gewöhnlich nicht zur Bestimmung des absoluten Alters einer Formation verwendungsfähig ist. Wie das Beispiel der Bröggerite von Moß zeigt, ist aber bei primär thorfreien Pechblenden die *Thoriummethode* zur *relativen Altersbestimmung* verschiedener Lokalitäten (Gänge) desselben Vorkommens an Genauigkeit bedeutend — um ca. eine Zehnerpotenz — *überlegen*, weil die Änderung des Thorgehalts mit dem Alter eine viel raschere ist als die Änderung des Pb-Gehaltes.

Auf Grund der bisherigen Ergebnisse an den Bröggeriten von Moß ergibt sich wohl unumgänglich die interessante Folgerung, daß *die große Intrusion des sog. Frederickshaldgranites wenigstens 60 Millionen Jahre lang Pegmatitgänge gebildet hat.*

Sieht man von der Anwendung der Thoriummethode ab, so bleibt doch der Schluß unabweisbar, daß die Gänge, die die Bröggerite für die Analysen 9, 10 und 13 lieferten, um viele Millionen Jahre jünger sein müssen, als etwa die Probe 4 (*E. Gleditsch*), weil 9, 10 und 13 schon ein kleineres Pb/U-Verhältnis haben, als das für 4 berechnete RaG/U-Verhältnis beträgt.

Gegen unsere Behauptung eines genetischen Zusammenhanges zwischen Thor und Uran gibt es nun noch ein Gegenargument, das wir ausdrücklich entkräften wollen. Die sogen. Cleveite von Garta und Arendal, von allen Autoren übereinstimmend stets als verwitterte Bröggerite hingestellt, haben ein 10—20 % größeres Pb/U-Verhältnis als die Bröggerite von Moß und dieses wurde bisher stets als ein Zeichen höheren Alters dieses Vorkommens gedeutet. Auch eine Atomgewichtsbestimmung an Pb aus Cleveit von *T. W. Richards* (206,08) liegt vor und weist auf ziemlich reines RaG hin. Der Thorgehalt der bisher untersuchten Cleveite — es liegen unseres Wissens im ganzen nur 3 oder 4 Analysen vor — ist dabei nicht größer, eher bleibt er im Durchschnitt etwas hinter den Bröggeriten zurück. Müßte man

die Cleveite tatsächlich als älter als die Formation von Moß ansehen, so wäre diesem Tatbestand gegenüber unsere Behauptung von der Abstammung des Thors von Uran natürlich unhaltbar. Nach unserer Ansicht ist es nun ein Zufall, daß von Arendal gerade lauter verwitterte Stücke analysiert wurden. Unter den von mir selbst und Ing. *W. Riß*[3]) untersuchten zahlreichen Einzelstücken vom Material *O. Hönigschmids*, die im allgemeinen sehr gut in die beiden Reihen (Fig. 2) passen, fiel etwa jedes zehnte gänzlich heraus; zum Teile hatten diese sichtlich verwitterten Stücke etwa das Pb/U-Verhältnis der sog. Arendal-Cleveite; sowohl unter diesen, wie auch unter den unverwitterten Stücken gab es welche mit jedem beliebigen Gehalt an seltenen Erden von 0,1 bis 10 %, so daß wir eine Aufstellung des Cleveites als eigene Species nicht für berechtigt halten. Daß unter den wenigen ersten Stücken, die analysiert wurden, gerade aus dem Fredericks-haldgranit unverwitterte mit geringem Gehalt an seltenen Erden und aus dem Telemarksgranit verwitterte mit hohem Gehalt an seltenen Erden waren, möchten wir für Zufall erklären. Nähere Untersuchungen über diese Verhältnisse sind in Gang. Wir möchten demnach die großen südnorwegischen Granitintrusionen des Frederickshald- und des Telemarkgranites als ungefähr gleichalterig ansehen. In die gleiche Zeit möchten wir auch alle präkambrischen Thoruranin führenden, sauren Granitintrusionen des kaledonischen Zuges überhaupt verweisen, soweit sie bis heute untersucht sind. Wir denken hierbei an die beiden Vorkommen von Villeneuve in Canada und Llano Co. in Texas, deren Zusammensetzung bis in alle Einzelheiten den an seltenen Erden reichsten, verwitterten, norwegischen Thoruraninen entspricht. Wir haben hier ein zweites Beispiel, in dem sich räumlich weit auseinanderliegende Formationen nach der radioaktiven Altersbestimmungsmethode zusammenfassen lassen. Diese Pegmatitgangbildungen, die über Kontinente ausgedehnt und viele Jahrmillionen hindurch stattfanden, mit bestimmten großzügigen geologischen Ereignissen in Verbindung zu bringen, sowie etwa Schlüsse auf einen stetigen und sehr langsamen Verlauf im großen zu ziehen, müssen wir wiederum dem Geologen von Fach überlassen.

Anhangsweise wollen wir noch ein paar Worte der Heliummethode widmen. Bei dieser Methode wurde oft die Faustregel in Anwendung gebracht, daß das Mineral etwa noch ¼ seiner Sollmenge an Helium enthält, daher sein wahres Alter gegenüber dem nach dieser Methode errechneten etwa dreimal so groß sei. Diese Faustregel stimmt nun oft gar nicht, es ist aber sehr lehrreich, die Abweichungen von ihr näher ins Auge zu fassen: der Bröggerit von Moß beispielsweise enthält ca. 10—15 % der Sollmenge an Helium, während die Ceyloner Thorianite bis über die Hälfte und manche Mineralien, wie der von *J. Strutt* untersuchte Sphen von Renfrew, Ontario, wahrscheinlich sogar noch mehr enthalten. Wenn wir uns nun nach der Ursache einer so großen Verschiedenheit der Abweichung des Verhältnisses He : (U, Th) von dem zu erwartenden umsehen, so zeigt sich, daß es vielleicht die Häufigkeit des Auftretens eines α-Strahles ist, mit der der He-Verlust eines Minerales parallel geht. Thorianit ist einesteils jünger als der Bröggerit und dies wäre einmal ein Umstand, der einer relativ vollständigeren Erhaltung des produzierten Heliums günstig wäre, zum anderen aber ist der Grad der Zerstörung seines Raumgitters geringer, weil ja das Thorium erstens nur 3½ mal langsamer zerfällt und zweitens der Zerfall bei diesem nur über 6 α-Strahler, statt über 8 wie beim Uran, führt. Vielleicht handelt es sich um einen vorübergehenden, vielleicht auch um einen dauernden, eine gewisse Beweglichkeit der Heliumatome bedingenden Zustand, der von den α-Partikeln beim Hindurchfahren erzeugt wird, der den Heliumatomen so eine Art Diffusionskonstante verschafft.

Hätte man es nun einmal mit einem Mineral zu tun, bei dem U und Th zu den Nebenbestandteilen gehören, so daß der Grad ihrer Amorphisierung und damit ihr Heliumverlust bei einiger Größe der in Frage kommenden Kristalle vernachlässigt werden kann, so wären damit die Bedingungen gekennzeichnet, unter denen vielleicht *auch die Heliummethode* zu einem *exakten Resultat* würde führen können.

Die Beobachtungen *Hevesys* über die Diffusion in festen Salzen, scheinen allerdings dafür zu sprechen, daß Ionen in festen Raumgittern im allgemeinen eine derartige Beweglichkeit besitzen, daß eine Erhaltung des Substanzbestandes der Mineralien durch geologische Zeiträume hindurch unwahrscheinlich erscheint. *Hevesys* Beobachtungen beziehen sich aber auf ein- oder höchstens zweiwertige Ionen, so daß es sehr wohl möglich ist, daß die Diffusionskonstante oder, wie *Hevesy* sie nennt, die Platzwechselkonstante in Raumgittern, die sich wie beim Zirkon aus zwei- und vierwertigen Ionen aufbauen, um Größenordnungen geringer ist.

Wir halten es für wahrscheinlich, daß eine wesentliche Diffusion im festen Zustand bei all den Substanzen nicht vorliegt, die ihren Substanzbestand seit den ältesten Zeiten vollständig bewahrt haben, und daß alle diese Minerale auch als für Edelgase absolut undurchdringlich gelten können.

Daß es die Tätigkeit der α-Strahlen, der gewalttätigsten unter den radioaktiven Phänomenen, ist, die den Edelgasen in der festen Substanz eine gewisse Diffusionsfähigkeit verleiht, dafür scheint uns auch die noch nicht sicher erklärte übergroße Emanierungsfähigkeit von Aktinium- und Thorium- (Mesothor-, Radiothor-) Präparaten zu sprechen; Aktinium- und RdTh-Präparate

[3]) Anderwärts noch nicht veröffentlicht.

geben ihre Emanation nämlich relativ viel leichter ab als Ra-Präparate gleicher Konzentration, und wir möchten diese Tatsache mit der verschieden starken Heliumabgabe verschieden stark aktiver Mineralien eben auf die Aktivität der fraglichen Stoffe, als gemeinsame Ursache zurückführen. Für eine eingehendere Verfolgung dieser Sache reicht die heute vorliegende Erfahrung aber wohl noch nicht aus.

Besprechungen.

Held, Hans, Über die Entwicklung des Achsenskeletts der Wirbeltiere. Abhdl. der mathem.-physikalischen Klasse der Sächs. Ak. d. Wiss. *38.* Bd. Nr. V. Leipzig, B. G. Teubner, 1921. 28 S. und 8 Tafeln. 19 × 29 cm.

Der Inhalt der mit schönen wertvollen Abbildungen ausgestatteten Studie geht weit über das hinaus, was der bescheidene Titel erwarten läßt. *Held* hat besonders gut konservierte und mit modernen Färbungsmitteln behandelte Embryonen von Haien (Acanthias) mikroskopisch genau untersucht und dabei gefunden, daß die Scheiden der Chorda dorsalis nicht als Kutikula von innen nach außen abgeschieden werden, wie die fast allgemeine bisherige Meinung war, sondern daß sie von außen zu der eigentlichen Chorda hinzukommen. Sie sind nicht entodermaler Abkunft wie die Chorda selbst, sondern stammen vom umgebenden Mesoderm. Allerdings hält *Held* es für nicht unwahrscheinlich, daß das Chordaepithel Substanzen nach außen abgibt, welche sich mit dem von außen her hinzutretenden Fibrillen vereinigen. Er glaubt kollagene Substanzen ausschalten zu können, hält aber die Abscheidung einer elastoiden Substanz für möglich, die dann eine der elastischen Häute innerhalb der Chordascheiden bilden könnte. Die Beobachtungen an Acanthias, welche weitaus die klarsten Bilder geben, werden an Vertretern der anderen Wirbeltierklassen in den Hauptpunkten bestätigt (Petromyzon, Triton, Anas, Sus).

Bisher war die Abscheidung der Chordascheiden von innen nach außen stets als ein Hauptbeweismittel für die Annahme herangezogen worden, daß die Grundsubstanz (Zwischensubstanz) eines Gewebes nach Art einer Kutikula von besonderen Zellen (in diesem Fall einseitig vom Chordaepithel) ausgeschieden werde und dann von sich aus (ohne besondere Zelltätigkeit) in fibrilläre Strukturen zerfalle oder in solche sich weiterbilde. *Held* dagegen sieht beim Embryo, wie er schon in seinem Buch über die Nervenentwicklung beschrieben hat, zuerst einen feinen Filz von Zellausläufern zwischen den Ursegmenten und der Außenfläche der Chorda (Limitans chordae propria). Er nennt dieses rein protoplasmatische Netzwerk „epitheliales Bindegewebe (Szilysches Fasernetz)". Anfänglich sind alle Keimblätter durch feinste Zellbrücken miteinander in Verbindung. An der Chorda splittern sich die von den Ursegmentzellen ausgehenden Protoplasmaausläufer ganz besonders stark auf und vereinigen sich zu einer anfangs locker gebauten, später immer mehr sich verdichtenden Haut, welche die Limitans chordae propria umgibt. Färberisch läßt sich nachweisen, daß die feinsten Zellausläufer der Ursegmentzellen zuerst aus dem protoplasmatischen Zustand in den kollagenen übergehen (Reaktion mit Pikrofuchsin nach *van Gieson*). Die Präparate zeigen in gewissen Frühstadien, daß die Zellausläufer in der Fläche des Ursegmentes noch rein protoplasmatisch sind, während die peripheren Ausstrahlungen bereits in kollagene Fäserchen umgewandelt wurden. Die einzelnen Fäserchen sind nur anfänglich gegeneinander optisch isolierbar. Sehr bald sieht man nur noch eine homogene Scheide ähnlich einer Basalmembran, welche bekanntlich auch vom umgebenden Gewebe als Faserscheide auf das Epithel abgelagert und dann zu einer homogenen Membran umgewandelt wird; *Held* nennt sie bei der Chorda „fibrilläre kollagene Faserscheide".

Held kommt noch von einer anderen Seite her zu der Überzeugung, daß die Chordascheide keine Kutikula sein könne. Für ihn ist die Rablsche Theorie der Polarität der Epithelzelle von prinzipieller Bedeutung für diese Frage. *Rabl* schreibt den zylindrischen Zellen die Fähigkeit zu, nach dem einen Pol eine Kutikula auszuscheiden, aber nicht nach dem anderen. Denkt man sich die Chordazellen so im Entoderm liegen, wie sie bei der entodermalen Abkunft der Chorda anfangs im Verband dieses Keimblattes gelegen haben müssen, so ist die Seite der Zellen, welche analog dem Darmepithel eine Kutikula nach dem Darmlumen zu bildet, niemals in der Chorda nach außen zu gewendet; im Gegenteil schaut nach außen der Zellpol, auf welchen innerhalb der Darmwand vom Bindegewebe aus die Basalmembran abgeschieden wird. Analog wird nach *Held* die fibrilläre kollagene Faserscheide von außen her der Chorda aufgelagert.

Außer dieser primären Scheide kommen dann noch eine Elastica externa, eine äußere zellige Chordascheide und eine innere zellige Chordascheide hinzu, über welche die Arbeit von *Held* wertvolle Angaben enthält, welche aber von weniger prinzipieller Bedeutung sind als die hier geschilderten Bilder und welche deshalb nur erwähnt werden sollen.

Was die Rablsche Theorie angeht, so ist sie vorläufig nach meiner Meinung eine zwar auf viele Objekte zutreffende, aber nicht als gesetzlich nachgewiesene Annahme. Ist es wirklich so, daß eine derartige zylindrische Zelle, wenn man sie künstlich umdrehen würde, nur nach dem ursprünglichen Pol eine Kutikula bilden kann, oder kann sie nicht doch polar umdifferenziert werden? Das wäre doch dem Experiment zugänglich und zuerst einmal festzustellen. Bis jetzt liegt für mich die Sache so, daß *C. Rabl* durch den Vergleich zahlreicher Vorkommnisse glaubte eine Regel aufstellen zu können. *Held* findet diese Regel an seinem Objekt bestätigt. Die Chordascheiden lassen sich also dem Rablschen Schema einordnen. Sie bestätigen, so wird man auf Grund der Heldschen Befunde und Annahmen schließen, die Rablsche Regel. Aber ich glaube nicht, daß man umgekehrt sagen kann: die Zelle ist polar gebaut, folglich kann die Chordascheide ihrer polaren Orientierung nach keine Kutikula sein, sie *muß* vielmehr einer Basalmembran entsprechen. (*Held* sagt, daß ein anderer Gedankengang „in der Hauptsache . . . . einen prinzipiellen Irrtum" enthalte. „Alle Kutikularbildungen sind immer nur Produkte einer freien Epithelfläche". S. 17.)

Was nun die unmittelbaren Befunde *Helds* angeht, so bestehen auch hier nicht unwesentliche Bedenken. Ist wirklich die mikroskopische Beobachtung von histologischen Färbungen imstande mit Sicherheit oder auch nur mit Wahrscheinlichkeit auszusagen, daß im einen Fall Protoplasmafäden sich von sich aus in kollagene Fäserchen umwandeln, daß im anderen Fall Substanzen auswandern und von anderwärts her gebildete Fasern durchtränken und umwandeln? *Held*

selbst bezeichnet am Schluß seiner Arbeit vieles von diesen Fragen als nicht spruchreif; man wird seiner in Aussicht gestellten umfassenderen Arbeit über die Entstehung der bindegewebigen Grundsubstanzen mit Spannung entgegensehen.

Denn die Untersuchung von *Held* über die Chordascheiden hat das Problem der Grundsubstanz neu aufgerollt. Ich verweise auf die Arbeiten von *W. Biedermann*, den seine sich auf alle Tierklassen stützenden Beobachtungen bei ausgedehntester Berücksichtigung der ungeheuren Literatur über den Gegenstand dazu brachten, ganz generell die Grundsubstanz für eine Kutikularbildung mit eigenen vitalen Fähigkeiten (wie Entstehung von Fasern u. dgl.) zu erklären. Die Chordascheiden spielten seit *v. Ebner* immer eine ganz besondere Rolle im Rahmen dieser Anschauung, weil sie besonders deutlich zu zeigen schienen, daß sie als Kutikularbildung entstehen und sich wie solche verhalten können. Zweifellos hat die Arbeit von *Held* das Verdienst, darin zur Vorsicht aufgefordert zu haben. *Held* hält selbst für die Basalmembranen einen „Doppelprozeß" für möglich, d. h. wie im Falle der Chordascheiden, eine Komponente, welche vom Bindegewebe aus auf das Epithel zu, und eine, die von dem Epithel aus auf das Bindegewebe zu wirksam ist. In den Transplantations- und Explantationsmethoden haben wir die Mittel an der Hand, bestimmte Zellen mit anderen Medien als den von ihnen selbst gebildeten Grundsubstanzen zusammenzubringen oder in anderer Weise die beteiligten Komponenten zu vertauschen und auf ihre Wirksamkeit zu prüfen. Hier sind Vorgänge unmittelbar zu beobachten, während man beim histologischen Bild auf den Schluß vom Fixationsprodukt auf den Lebensprozeß angewiesen ist. *Held* geht auf die Resultate der experimentellen Forschung nicht ein und erwähnt auch bei den Autoren, welche über die Grundsubstanzfrage gearbeitet haben, nur Histologen und Embryologen (S. 20); der Physiologe *Biedermann* ist nicht erwähnt. Und doch scheint mir das interessante Problem nur durch Zusammenfassung aller Möglichkeiten der modernen Untersuchungsmethoden lösbar zu sein und zwar dann mit großer Aussicht auf einen durchschlagenden Erfolg.

H. Braus, Würzburg.

Leche, Wilhelm, Der Mensch, sein Ursprung und seine Entwicklung in gemeinverständlicher Darstellung. Zweite, umgearbeitete deutsche Auflage. Jena, Gustav Fischer, 1922. VII, 390 S., 367 Abbildungen und 1 Tafel. 17 × 25 cm.

Das vorliegende Buch gehört mit zum Besten, was wir auf diesem Gebiete besitzen. Die genußreiche Lektüre führt den Leser vom Allgemeinen zum Besonderen. So behandelt das erste Kapitel die Deszendenzlehre im allgemeinen, Variation, Selektion und Artbildung und gibt einen Überblick über die Geschichte der Deszendenzlehre. Im zweiten Kapitel wird die Stellung des Menschen unter den Wirbeltieren erläutert. Dabei werden die Ausbildungsstufen der Wirbeltiere erklärt und bei den einzelnen Formen die für sie charakteristischen Organe und ihre Entstehung besprochen, insbesondere der Bau des Rumpfes und der Extremitäten, die Atemorgane und die Besonderheiten der Fortpflanzung, und alles das ist in reizvoll lehrhafter Weise dargestellt. Weiterhin sind die Zeugnisse der Paläontologie verwertet; ein historischer Überblick leitet dieses Kapitel ein, und die Schilderung der fossilen Selachier, Ganoiden, Knochenfische, Lungenfische, Panzerlurche, Reptilien, besonders Dinosaurier, Vögel, Flugsaurier und Säuger gibt dem Verfasser Gelegenheit, die vergleichend anatomischen Zusammenhänge darzulegen, wobei besonders die Umänderung der Extremitäten berücksichtigt ist, die am Beispiel des Pferdes näher erläutert wird. Ein weiterer Abschnitt schildert den Menschen im Lichte der vergleichenden Anatomie. Da wird der Gehirnschädel und der Gesichtsschädel, das Rumpf- und Extremitätenskelett sowie das Gehirn in ihren Zusammenhängen mit anderen Arten geschildert. Auch die Ergebnisse der Embryologie werden für die vorliegenden Fragen ausgewertet. Die Keimzelle und ihre Bedeutung für die Vererbung, und im Zusammenhang damit Protozoen und Metazoen sowie die Vorgänge der späteren Entwicklungsgeschichte werden behandelt. Ein besonderes Kapitel ist den rudimentären Organen und der regressiven Entwicklung gewidmet: die Zähne der Bartenwale, die Augen des Maulwurfs, das Parietalauge, die Plica semilunaris, die Gaumenfalten und der Wurmfortsatz dienen als Beispiele, deren Bedeutung durch eine Parallele aus der Technik verdeutlicht wird. Das Gehirn, die psychischen Fähigkeiten und die Sprache finden eine ihrer Bedeutung entsprechende Würdigung. Das Urteil über die Stellung des Menschen und seiner nächsten heute lebenden Verwandten stützt sich nicht nur auf eine eingehende Schilderung des Schädels und Gebisses, sondern auch der Proportionen des Rumpfes und der Gliedmaßen in Zusammenhang mit ihrer funktionellen Bedeutung. Auch die serologischen Verwandtschaftsreaktionen mit hämolytischem und präzipitierendem Antiserum haben hier Platz gefunden. Auf morphologischem wie serologischem Wege kommt der Verfasser zu dem Schluß, daß Mensch und Menschenaffen einen gemeinsamen Ursprung haben. Nur mit einem kurzen Absatz der sonst so treffenden Darstellung kann Referent sich nicht einverstanden erklären: wenn der Verfasser sagt, daß die Abstammung des Menschen „vom Affen" jeglicher wissenschaftlichen Stütze entbehre, so muß man ihn fragen, zu welcher Tiergruppe er denn den gemeinsamen Vorfahren der Menschenaffen und des Menschen rechnen möchte, wenn er vorher sogar die Halbaffen zu den „Affen" gezählt hat? Solche Konzessionen an die Gegner der Deszendenzlehre sind immer vom Übel, denn sie werden von diesen erfahrungsgemäß nur benutzt, um sie aus dem Zusammenhang zu reißen und ihnen einen falschen Sinn unterzuschieben. In den beiden Kapiteln, die den fossilen Menschenfunden gewidmet sind, wäre eine klarere Ablehnung der Eolithen zu wünschen. Im übrigen sind die Funde der Primigenius- und der Sapiensgruppe kurz, aber mit gutem Urteil beschrieben. Nicht gerechtfertigt ist die Auffassung des Zahnes von Taubach als Schimpansenzahn, ebenso die Annahme, daß der Piltdownfund die Anwesenheit des Homo sapiens im Beginn der paläolithischen Periode beweise. Die Funde von Rhodesia und von Talgai (Queensland) sowie die Wadjakskelette sind leider noch nicht aufgenommen; eine spätere Auflage wird an ihnen nicht vorübergehen dürfen. In der Pithecanthropusfrage bewährt sich des Verfassers klare Betrachtungsweise. Der Schluß bringt einen Ausblick auf das Wirken der Auslese auf den Menschen in Gegenwart und Zukunft und berührt kurz auch das Problem der Rassenhygiene.

Das mit gut gewählten Bildern reich ausgestattete Buch bietet dem Laien eine vorzügliche Einführung in die vorliegenden Fragen, aber auch dem Forscher vielerlei Anregung. Die ruhige Klarheit des Urteils erinnert an *Darwins* Schriften, und das ist wohl das Beste, was man von einem naturwissenschaftlichen Buche sagen kann.

Th. Mollison, Breslau.

Zawadowsky, M., Das Geschlecht und die Entwicklung der Geschlechtsmerkmale. Moskau, Staatsverlag, 1921. 255 S., 94 Abb. und 20 Tafeln. 17×25 cm.

Es ist nicht leicht, über ein wissenschaftliches Werk, das beachtenswerte experimentelle Ergebnisse ohne ganz einwandfreie Belege und weitgehende theoretische Folgerungen ohne ausreichende Berücksichtigung der neueren Literatur bringt, ein abschließendes Urteil zu fassen, wenn der Verfasser am Schluß seines Buches angibt, daß die Untersuchungen bei äußerst schwierigen Verhältnissen in der Krim, von den Kulturzentren abgeschnitten und eine Zeitlang zwischen zwei feindlichen Fronten ausgeführt wurden, wobei ein Teil des Materials und der wissenschaftlichen Belege zugrunde ging. Diese Schlußbemerkung verleiht dem ganzen Werk einen eigenen subjektiven Anstrich und einen mehr historischen als rein biologischen Wert. Es liegt unleugbar eine gewisse Tragik darin, daß die Ergebnisse der im Jahre 1919 in Angriff genommenen Versuche bei ihrer Veröffentlichung 1922 teils überholt, teils schon widerlegt waren. Nicht die spät erfolgte Veröffentlichung ist allein schuld daran. Es hätte den rein sachlichen Wert der Ergebnisse sicherlich nicht herabgesetzt, wenn auch inzwischen andere Forscher ähnliche Befunde veröffentlicht hätten. Die ganze Geschlechtsbiologie hat aber seit 1919 eine so intensive Bearbeitung gefunden, die Probleme sind derart differenziert, vertieft oder umgestellt worden, daß ein Werk, das im Mangel an neuerer Literatur noch ganz im Geiste der Vorkriegszeiten entstanden ist, an manchen Stellen, besonders dort, wo der Verf. grundsätzlich Neues gefunden zu haben meint, fast als Anachronismus wirken muß.

Verf. steht ganz auf der Grundlage der Steinachschen Lehre von der Wirkung der Geschlechtshormone. Um die Wirkung des Maskulinisin und Feminisin bei der Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale zu verfolgen, führt er hauptsächlich an Hühnern, Enten und Fasanen, daneben aber auch an Säugetieren (Antilopen, Damhirschen, Rehen, Ochsen und Schafen) Kastrationsexperimente sowie Homoio- und Heterotransplantationen aus. Wie auch schon *Tandler* und *Groß* festgestellt haben, bleibt eine Gruppe von Merkmalen durch die Kastrierung unbeeinflußt, während eine andere Gruppe nach Kastrierung rückgebildet wird. Bei den Hühnern sind z. B. das Hahnengefieder und die Sporen „unabhängige", der Kopfschmuck, die Stimme und die Instinkte dagegen von den Geschlechtshormonen abhängige Merkmale. Die durch Kastrierung verloren gegangenen Merkmale entstehen von neuem bei gelungenen Keimdrüseneinpflanzungen. Besonders beachtenswert sind die Einpflanzungen von Keimdrüsen des anderen Geschlechts. In vier Fällen ist es geglückt, kastrierten Hähnen Eierstöcke und kastrierten Hennen Hoden so einzupflanzen, daß die Gonaden funktionsfähig geblieben sind. In diesen Fällen ist auch eine Maskulinisierung bzw. Feminisierung der Kastraten eingetreten. Dieser Teil der Arbeit ist nicht nur der umfangreichste, sondern zweifellos der wissenschaftlich bedeutendste, wenn auch das Fehlen von einwandfreien Belegen oft recht fühlbar ist und die vielen leeren spekulativen Formeln eher störend als klärend wirken. Es geht vor allem aus diesen Versuchen klar hervor, daß bei den Vogelarten das weibliche Geschlecht in bezug auf die Geschlechtsfaktoren als heterozygot und das männliche als homozygot zu betrachten ist, wie dies auch aus den ähnlichen Versuchen von *Goodale* zu folgern war. Verf. führt natürlich auch diese Erscheinung auf die Geschlechtshormone zurück, indem er annimmt, daß das bisexuelle Weibchen im linken Ovar Feminisin, im rechten aber Maskulinisin erzeugt. Da im normalen Tier das rechte Ovar meist mangelhaft ausgebildet ist, kann das Maskulinisin dem Feminisin gegenüber nicht zur Wirkung gelangen. Nach Entfernung des linken Ovars tritt aber seine Wirkung in Erscheinung, wobei in einem Falle auch die Zunahme des rechten Ovars beobachtet wurde. Wie weit diese Deutung, die zur Erklärung der Hahnenfedrigkeit der Hühner auch schon früher herangezogen wurde, stichhaltig ist, soll hier nicht näher besprochen werden. Es ist jedenfalls bedauerlich, daß Verf. es unterlassen hat, durch die Entfernung auch des rechten Ovars die klare Entscheidung darüber herbeizuführen, ob nicht eher der vom linken Ovar auf die genetisch gegebenen männlichen Faktoren ausgeübte hemmende Einfluß für diese Erscheinung verantwortlich sei. Wäre etwas Entscheidendes in dieser Hinsicht erreicht, so hätten die Versuche auch einen besonderen Wert dadurch gewonnen, daß sie zu der Intersexualitätslehre von *Goldschmidt* in eine nähere Beziehung getreten wären und vielleicht ein Beispiel dafür hätten bieten können, wie bei Tierarten mit ausgebildetem Endokrinsystem die genetisch bedingte Doppelgeschlechtigkeit durch hormonale Einflüsse geregelt wird. Statt dessen mißt Verf. eine besondere Bedeutung seinem Versuche, die Symbole des Maskulinisin und Feminisin in die Erbformeln an Stelle der Geschlechtsfaktoren einzusetzen, und meint damit einen konkreten Inhalt der abstrakten Symbolik der Vererbungswissenschaft zu verleihen. Wenn auch der Versuch, den er als Beispiel dafür angibt, an und für sich recht beachtenswert ist, ist ein derartiger Austausch der Symbole vollkommen unberechtigt, da, wie Verf. selbst ausführlich nachweist, die Geschlechtshormone nur einen Teil der Geschlechtsmerkmale beeinflussen, während die in den Erbformeln enthaltenen Symbole der Geschlechtsfaktoren diejenigen Faktoren bezeichnen, von denen alle Geschlechtscharaktere, sowohl die primären wie die sekundären, sowohl die „unabhängigen" wie die von der Hormonwirkung abhängigen beeinflußt werden. Die abstrakte Symbolik der Genetik erhält bei jedem Kreuzungsexperiment, das richtig angestellt, genügend weit verfolgt, eingehend analysiert und logisch in Formeln ausgedrückt ist, den einzig möglichen konkreten Inhalt. Der Realitätswert dieses Inhaltes hängt nur von den Tatsachen ab, die aus den Kreuzungsversuchen hervorgegangen sind. Es ist recht fraglich, ob die Genetik die Begriffe des Maskulinisin und Feminisin, die bekanntlich nur Bezeichnungen für hypothetische Stoffe und in ihrem Mechanismus noch vollkommen unklare physiologische Wirkungen sind, überhaupt verwenden könnte.

T. Péterfi, Berlin-Dahlem.

Eddington, A. S., The mathematical theory of relativity. Cambridge, University Press, 1923. Preis 20 sh.

Die Zahl der wissenschaftlichen Lehrbücher über die Relativitätstheorie ist gewiß nicht mehr gering, und doch ist das Erscheinen eines neuen immer ein gewisses Ereignis, weil jeder Autor den Gegenstand von einem etwas anderen Stand betrachtet. Die Umwandlung unseres physikalischen Denkens durch die Relativitätstheorie ist eben so tiefgreifend, und wir stehen noch so sehr am Anfang dieser Umwandlung, daß niemand sagen kann, wohin sie führen und welches die abschließende Form der neuen Lehre sein wird. So bietet auch das Werk *Eddingtons* ein hohes Interesse, um so mehr, als der Verfasser durch seine Untersuchungen über die Lichtablenkung an der Sonne mehr als irgend ein anderer bisher für die empirische Bestäti-

gung der Einsteinschen Lehre von der Schwerkraft getan hat, und auch aus seinen theoretischen Untersuchungen zur Astrophysik als ein ideenreicher Kopf ersten Ranges bekannt ist.

Und das Buch erfüllt die Erwartungen, die man ihm danach entgegenbringen muß. Es ist in allen Teilen außerordentlich frisch geschrieben und anregend, vielleicht gerade da, wo man seinen Ausführungen nicht zu folgen vermag. Es umfaßt die gesamte Relativitätstheorie, ist aber von vornherein auf die allgemeine zugeschnitten, so daß die beschränkte ein wenig zurücktritt. Eingeteilt ist es in sieben Kapitel mit den Überschriften: 1. Elementare Grundzüge; 2. Die Tensorrechnung; 3. Das Gesetz der Schwerkraft; 4. Relativistische Mechanik; 5. Die Krümmung von Raum und Zeit; 6. Elektrizität; 7. Weltgeometrie. — Im letzten behandelt der Verfasser die Weylsche Theorie und seine eigenen Ansätze zur Fortbildung der Relativitätstheorie, an welche *Einstein* in seinem neuesten Versuch, Schwere und Elektromagnetismus unter ein Prinzip zusammenzufassen (Berliner Sitzungsberichte 1923, S. 32) anknüpft.

Besonders interessant scheint uns z. B. der Aufbau des dritten Kapitels. Zunächst werden die Einsteinschen Feldgleichungen $R_{ik} = 0$ für den leeren Raum hingeschrieben, aus ihnen die Schwarzschildsche Lösung für das Feld des einzelnen kugelförmigen Körpers abgeleitet und ausführlich erörtert (Planetenbewegung, Lichtablenkung, Rotverschiebung). Dann wird über die de Sittersche Theorie der Mondbewegung berichtet und das kosmologische Glied — λg_{ik} in die Feldgleichungen eingeführt. Und nun kommt die Hauptsache: der Übergang zu materieerfüllten Räumen. Es ist ja bekannt, daß man in der klassischen Potentialtheorie von der Grundlösung $\varphi = \frac{1}{r}$ der Differentialgleich $\Delta \varphi = 0$ zu der Gleichung $\Delta \varphi = -4\pi\varrho$ für das Innere der Materie gelangen kann. Trotz der Erschwerung durch die Nichtlinearität der Einsteinschen Feldgleichungen wird auch hier dieser Übergang durchgeführt. Als Grundlösung wird dabei *Schwarzschilds* Lösung betrachtet. Und wenngleich *Eddington* selbst gegen die Strenge der erforderlichen Grenzübergänge Bedenken äußert, ist es doch interessant und bildet eine Stütze für die Gleichungen

$$R_{ik} - \tfrac{1}{2} R g_{ik} = \varkappa T_{ik}$$

daß er dabei in der Tat zu diesen Gleichungen gelangt. Eine solche Stütze aber erscheint uns deshalb wertvoll, weil bisher die empirischen Prüfungen der allgemeinen Relativitätstheorie immer nur die Feldgleichungen für den leeren Raum bestätigen.

Gegen die Ausführungen des sechsten Kapitels müssen wir aber einige Einwände geltend machen. Die Ableitung, welche *Eddington* auf S. 175 für den Satz gibt, daß die Lichtstrahlen durch die geodätischen Nullinien der vierdimensionalen Welt gegeben sind, scheint uns nicht recht verständlich, und sicher sind seine Ausführungen auf S. 189 ff. über die Dynamik des Elektrons unzutreffend. Denn dabei wird einmal die Maxwell-Lorentzsche Elektrodynamik als streng gültig vorausgesetzt und dennoch von einem nichtelektromagnetischen Anteil an der Energie, der Masse und dem Impuls des Elektrons abgesehen, obwohl doch in der physikalischen Literatur die Notwendigkeit eines solchen Anteils (falls man nicht eine neue Elektrodynamik schafft) hinreichend bekannt ist.

Eigenartig, aber wohl kaum überzeugend, ist schon früher (S. 112) die Behandlung der rotierenden Scheibe, bei der der Verfasser sich auf eine uns nicht zugängliche Veröffentlichung von *H. A. Lorentz* beruft. Durch *Ehrenfest* und andere Autoren ist in der physikalischen Literatur bekannt, daß ein Körper, der in gleichförmige Drehgeschwindigkeit um eine feste Achse gebracht wird, nach der Relativitätstheorie notwendig elastische Deformationen erleidet. Hier wird nun vorausgesetzt, daß der Körper einmal inkompressibel ist, und *auch bei der Drehung* eine durch zwei parallele Ebenen begrenzte Scheibe darstellt. Daraus ergibt sich dann eine bestimmte Art der Deformation. Wodurch aber die Erfüllung der zweiten Bedingung gewährleistet ist — wenn man sich schon mit der ersten als einer auch für die Relativitätstheorie zulässigen Näherung abfinden will —, das wird nicht gesagt.

Das größte Interesse wird man bei dem Buche eines Astronomen wohl den Teilen entgegenbringen, in denen er von den kosmologischen Möglichkeiten spricht, welche die Relativitätstheorie eröffnet (Kapitel 5). Aber gerade hierbei haben wir eine ganze Reihe von Bedenken empfunden; und wir möchten darauf etwas ausführlich eingehen, weil die Gefahr besteht, daß sich hier irrige Anschauungen festsetzen, namentlich in der mehr populären Literatur. Es handelt sich dabei um die Deutung der bekannten, de Sitterschen Lösung der Feldgleichungen $R_{ik} - \lambda g_{ik} = 0$:

$$\mathrm{d}s^2 = \frac{\mathrm{d}r^2}{1 - \frac{1}{3}\lambda r^2} + r^2(\mathrm{d}\vartheta^2 + \sin^2\vartheta\,\mathrm{d}\varphi^2) - c^2\left(1 - \frac{1}{3}\lambda r^2\right)\mathrm{d}t^2 \ldots (1$$

die wir durch die Transformation:

$$r\cos\vartheta = x,\ r\sin\vartheta\cos\varphi = y,\ r\sin\vartheta\sin\varphi = z$$

auf die Form:

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{d}s^2 &= \mathrm{d}x^2 + \mathrm{d}y^2 + \mathrm{d}z^2 \\ &+ \frac{\frac{1}{3}\lambda}{1 - \frac{1}{3}\lambda(x^2 + y^2 + z^2)}(x\,\mathrm{d}x + y\,\mathrm{d}y + z\,\mathrm{d}z)^2 \\ &- c^2\left(1 - \frac{1}{3}\lambda(x^2 + y^2 + z^2)\right)\mathrm{d}t^2 \end{aligned}\right\} \ldots (2$$

bringen können[1]).

Auf S. 163 beweist *Eddington*, daß die räumliche Bahn des Lichts danach durch lineare Beziehungen zwischen x, y, z gegeben ist. Da sich das nach der alten Physik im euklidischen Raum ebenso verhält, falls x, y, z kartesische Koordinaten sind, schließt er, daß die Ermittlung der Fixsternabstände aus Parallaxenbeobachtungen nach *de Sitter* genau so vorzunehmen ist, wie unter euklidischen Voraussetzungen. Tatsächlich gehört doch zu den Grundlagen der alten Abstandsbestimmung der Satz: In einem aus Lichtstrahlen gebildeten Dreieck beträgt die Summe der Winkel 180°. Denn nur unter dieser Voraussetzung kann man die gemessene Parallaxe gleich dem Winkel setzen, unter welchem der Erdbahndurchmesser vom Stern aus erscheint. Für die Gültigkeit dieses Satzes ist aber notwendig, daß, wenn der Lichtstrahl in irgendwelchen Koordinaten durch lineare Gleichungen gegeben ist, daß dann in denselben Koordinaten das dreidimensionale Linienelement durch die euklidische Maßbestimmung $\mathrm{d}a^2 = \sum g_{ik}\,\mathrm{d}x^i\,\mathrm{d}x^k$ mit *konstanten* g_{ik} gestellt wird. Und das ist nach (2) nicht der Fall, kann

[1]) Wir halten uns hier nicht an die Bezeichnungsweise *Eddingtons*, sondern benutzen dem deutschen Leser geläufigere Benennungen.

auch gar nicht der Fall sein, weil eben der de Sittersche Raum nicht euklidisch ist.

Nach (1) nimmt die Lichtgeschwindigkeit $c\left(1 - \frac{1}{3}\lambda r^2\right)$ mit wachsendem r stets ab und wird schließlich für $r = \sqrt{\frac{3}{\lambda}}$ zu Null. An dieser Fläche liegt der von *Einstein, Weyl* und *de Sitter* selbst angegebene „Massenhorizont", die unerreichbare Grenze des Raums und zugleich die einzige Stelle, an welcher der sonst leere de Sittersche Kosmos erhebliche, den Raum beeinflussende Massen enthält. Je näher eine Uhr ihm liegt, um so langsamer verläuft ihre Eigenzeit gegen die „kosmische" Zeit t, und da sich Lichtwellen, bezogen auf t, mit unveränderter Schwingungszahl fortpflanzen, muß sich dieser langsamere Gang im „Pol" $r = 0$ und seiner Umgebung als Rotverschiebung aller Spektrallinien bemerkbar machen, auch wenn diese von einer in dem hier benutzten Koordinatensystem ruhenden Lichtquelle entsandt werden. Als die bei weitem fernsten uns bekannten Objekte betrachten manche Astronomen nun gewisse Nebel, und so hat schon *de Sitter* die Frage gestellt, ob sich nicht an diesen eine solche Rotverschiebung beobachten läßt. In der Tat kann *Eddington* (S. 162) noch unveröffentlichte Beobachtungen von *V. M. Sliper* am Lowell-Observatorium mitteilen, denen zufolge sich bei 36 unter 41 derartigen Nebeln eine zum Teil sehr erhebliche Rotverschiebung $\left(\text{bis zum Betrage } 6 \cdot 10^{-3} \text{ von } \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)$ zeigt. Nach *Eddington* ist dies aber — immer unter der Voraussetzung der de Sitterschen Welt — nicht nur aus der geringen Lichtgeschwindigkeit am Ort dieser Nebel zu erklären, sondern auch daraus, daß sie unter der Anziehungswirkung durch den Massenhorizont, welche sich bekanntlich ebenfalls aus der Maßbestimmung (1) ableiten läßt, eine Bewegung vom Pol und damit auch vom Sonnensystem fort haben (S. 161 unten). Hiergegen möchten wir Einspruch erheben. In einem statischen Schwerefeld durchläuft ein Körper nach der Relativitätstheorie genau so wie nach der Newtonschen den aufsteigenden Teil seiner Bahn in der gleichen Art und, sofern wir entsprechende Bahnstrecken betrachten, in derselben Zeit, wie den absteigenden. In einem beliebig herausgegriffenen Augenblick ist also die Wahrscheinlichkeit, ihn im Aufstieg gegen die Schwerkraft zu sehen, genau so groß, wie die, daß man ihn im Abstieg vorfindet. Macht man also nicht eine Schöpfungshypothese (und die Annahme, daß „am Anfang" alle Körper in der de Sitterschen Welt gegen den Massenhorizont geruht haben, wäre eine solche), so kann man aus der Anziehung durch den Massenhorizont nicht schließen, daß die Körper jetzt im allgemeinen eine Bewegung auf diesen zu zeigen. Das Überwiegen der Rotverschiebung gegen die entgegengesetzte Verlagerung der Linien muß also *allein* aus der verringerten Lichtgeschwindigkeit erklärt werden.

Man kann aus (1) leicht herleiten, daß ein Beobachter außerhalb des Pols, wenn er von einer Lichtquelle im Pol Licht empfängt, an diesem eine Violettverschiebung wahrnimmt, wie ja auch ein Beobachter auf der Sonne an dem Licht einer irdischen Lichtquelle eine solche bemerken müßte. Diesem unseres Erachtens unbestreitbaren Satz widerspricht merkwürdigerweise *Eddington* auf S. 164; nach ihm sollen beide Beobachtungen eine Rotverschiebung ergeben. Und er gibt für dieses merkwürdige „Paradoxon" die nicht minder merkwürdige Erklärung, daß der außerhalb des Pols befindliche Beobachter infolge der Anziehung durch den Massenhorizont notwendigerweise auf diesen zu zu fallen beginne, so daß ein Dopplereffekt eintrete. Dieser Grund, der jeden Beobachter mit einem materiellen Körper behaftet voraussetzt, vermag uns nicht zu überzeugen, schon weil man den „Beobachter" aus dem Gedankengang, der zur Linienverschiebung führt, (wie überhaupt aus der ganzen Relativitätstheorie) vollständig fortlassen kann. Uns blieb diese Stelle überhaupt unverständlich, bis wir in dem früheren Werk des Verfassers (Space, Time and Gravitation) die Ansicht vertreten fanden, daß in der de Sitterschen Welt alle Raumpunkte gleichberechtigt wären. Auf Grund einer solchen Gleichberechtigung wäre der obige Schluß allerdings gerechtfertigt. Demgegenüber müssen aber wir betonen, daß im de Sitterschen Kosmos der Pol als der von allen Teilen des Massenhorizonts im gleichen, endlichen Abstand befindliche Raumpunkt vor allen anderen bevorzugt ist. Darin unterscheidet sich der de Sittersche Raum von dem Einsteinschen Kugelraum, in welch letzterem in der Tat alle Punkte gleichberechtigt sind.

Alle diese Einwände vermögen aber unseres Erachtens den Wert des Buchs nicht wesentlich zu beeinträchtigen. Wir haben sie hier vorgebracht, weil bei dessen sonstigen Vorzügen und bei dessen vorauszusehendem Einfluß auf andere Darstellungen der Relativitätstheorie Grund zu der Befürchtung vorliegt, daß sich auch diese Mängel weiter fortpflanzen; und auch in der Hoffnung, daß das Buch selbst sich bei weiteren Auflagen von ihnen befreien wird. Wir schließen mit dem Wunsch, daß es einem deutschen Verlage gelingen möge, trotz aller Valutaschwierigkeiten eine Übersetzung herauszubringen.

M. v. Laue, Berlin-Zehlendorf.

Planck, Max, Einführung in die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus. Leipzig, S. Hirzel, 1922. 208 S. und 12 Abbildungen. 15 × 22 cm.

Mit diesem Buch wird die Veröffentlichung der Berliner theoretischen Vorlesungen *Plancks* fortgesetzt, die „zum Gebrauch bei Vorträgen sowie zum Selbstunterricht" allgemein zugänglich gemacht werden. Es besitzt die bekannten Vorzüge der Planckschen Bücher und Vorlesungen in hohem Maße: die Einheitlichkeit, die Geschlossenheit des Gedankenbildes, die nicht durch ein Hin- und Herspringen zwischen verschiedenen Auffassungs- und Darstellungsweisen gestört wird; die klare Formulierung der eingeführten Voraussetzungen und Begriffe; die übersichtliche Systematik des Gebietes, die dem aufmerksamen Schüler die Beherrschung jeder, auch der technischen Teilfragen ermöglicht, obgleich in dem Werk selbst so gut wie gar keine Konzessionen an die Praxis gemacht sind. Daß die Zurückhaltung gegenüber den Tagesströmungen, die dem vornehmen und kühl betrachtenden Geiste dieses Werkes angemessen ist, sich auch auf die neuere atomistische Entwicklung der Elektrizitätslehre erstreckt — die Lorentzsche Theorie wird nur in einem Schlußwort gestreift —, darf wohl nicht als Nachteil gelten; es wird eben bei jeder derartigen Monographie eines theoretischen Teilgebietes immer noch „ein anderes Blatt" geben und geben müssen.

Der Stoff ist in 3 Abschnitte gegliedert: Deduktion der allgemeinen Maxwellschen Feldgleichungen — Behandlung der statischen und stationären Probleme — Behandlung der quasistationären und allgemeinen Vorgänge. Von vornherein wird, halb axiomatisch, der Standpunkt der Nahewirkungsphysik eingeführt; die Wirkung eines elektrisierten Körpers auf einen

anderen erscheint durch lokalisierte Feldzustände im Zwischenmedium vermittelt und bedingt. Die Realität dieser „Feldzustände" als der Grundlage aller elektromagnetischen Erscheinungen wird von vornherein so eindringlich geltend gemacht, daß es nunmehr ganz folgerichtig erscheint, wenn die Maxwellschen Gleichungen in ihrer allgemeinsten Form, fast ohne weitere Voraussetzungen, aus den Annahmen über die lokale Energie- und Energieströmungsdichte in Abhängigkeit von den elektrischen und magnetischen Feldgrößen abgeleitet werden. Die freie Wahl der elektromagnetischen Maßsysteme innerhalb des CGS-Maßes für die Energie erscheint bei dieser Darstellung noch in besonders übersichtlicher Form und wird durch eine Vergleichungstabelle am Schluß des Buches unterstützt; auf der anderen Seite treten solche primären Begriffe wie elektrische Ladung, elektrischer Strom, elektrische Doppelschicht freilich in so abgeleiteter Form auf, daß man gewissermaßen erst ein kleines Schwindelgefühl überwunden haben muß, ehe man sich mit der normalen Bedeutung dieser Begriffe wieder befreundet hat.

Immerhin bleibt diese ganze Ableitung der Maxwellschen Gleichungen vollständig konsequent, einheitlich und einwandfrei, und die Behandlung aller weiteren Probleme ist nunmehr fast nur eine Anwendungsfrage der gefundenen allgemeinen Gesetze auf spezielle Fälle. Im 2. Teil folgt zunächst eine klare und recht erschöpfende Darstellung der elektrostatischen Potentialtheorie, dann werden, einfach als die allgemeinere mit den Grundgleichungen verträgliche Annahme, Kontaktspannungen an den Grenzflächen zweier homogener Medien eingeführt und unter diesem Gesichtspunkt die Galvani- und Voltaspannungen behandelt. Das magnetostatische Feld und das Feld des Stromes als weitere Spezialfälle der Maxwellschen Gleichungen schließen sich an, die ponderomotorischen Wirkungen werden aus dem Energieprinzip abgeleitet. Immer wird betont, wie den eindeutigen Aussagen der Nahwirkungstheorie hierbei eine Vieldeutigkeit der Fernwirkungstheorien gegenübersteht.

Im letzten Teil, der zunächst quasistationäre und dann Strahlungsvorgänge behandelt, interessiert besonders das letzte Kapitel über dynamische Vorgänge in *bewegten* Körpern. Es wird gezeigt, wie die in den anfänglichen Voraussetzungen eingeführte Annahme eines an jeder Stelle einheitlichen Mediums als Trägers der elektromagnetischen Zustände notwendig zur den *Hertz*schen Gleichungen für bewegte Körper führt, die mit der Erfahrung im Widerspruch stehen. Hier wird dann auf die Lorentzsche Theorie des „ruhenden Äthers" hingewiesen, in dem die Materie nur durch ihre Mitführung von elektrischer Ladung Störungen bewirkt, und schließlich die *Einstein*sche Relativitätstheorie mit ihren Aussagen über den nicht Galileischen Charakter der Raum-Zeit-Transformationen als notwendige Ergänzung dieser Theorie genannt. *W. Schottky, Rostock.*

Lorentz, H. A., Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung für Studierende der Naturwissenschaften. 4. Auflage. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1922. V, 602 S. und 122 Abbildungen. 14×22 cm.

Schon der Titel dieses in der vierten Auflage vorliegenden Werkes betont, daß es sich hier nicht um ein Buch handelt, welches dem reinen Mathematiker oder dem forschenden theoretischen Physiker Genüge tun soll. Das Buch ist in erster Linie für Studenten, z. B. Experimentalphysiker und andere Naturwissenschaftler bestimmt, die ohne allzugroßen Zeitaufwand in die elementaren Kapitel der höheren Analysis eindringen wollen mit dem Ziele, sich dort gerade nur diejenigen Kenntnisse anzueignen, die für jede quantitative Behandlung von Naturerscheinungen unentbehrlich sind. Von diesem Gesichtspunkt aus ist die Auswahl des Stoffes und die Darstellung tatsächlich auf derjenigen Höhe, die der Name des Autors verspricht. In der glücklichsten und anregendsten Weise ist der mathematische Stoff mit naturwissenschaftlichen Anwendungen aus verschiedenen Gebieten durchsetzt und belebt, und mit feiner pädagogischer Kunst werden dabei solche Beispiele vermieden, die an die naturwissenschaftliche Vorbildung des Lesers zu hohe Anforderungen stellen würden. Glücklich der interessierte Primaner oder Student, dem dieses anregende Buch statt der leider so verbreiteten mathematischen Schundliteratur in die Hand fällt! Auch der Student, der sich später weitergehende mathematische Kenntnisse aneignen will, kann zufrieden sein, wenn er mit dem Lorentzschen Buche den Anfang gemacht hat. Allerdings wird er gelegentlich die für weitergehende Studien nötige mathematische Präzision vermissen, so z. B. auf Seite 169, wo von unendlich kleinen Größen und Differentialen die Rede ist und wo wohl nur der Kenner der Sache mit den Erklärungen einen ganz präzisen Sinn verbinden können wird, wenngleich an und für sich die Einführung des Differentialquotienten vollständig korrekt ist. — Im Ganzen kann das Buch auch für den Universitätslehrer der Mathematik wertvolle Anregungen bieten. So ist zu hoffen, daß auch die neue Auflage wie die früheren überall ihre Freunde finden wird. *R. Courant, Göttingen.*

Theories of Magnetism. Bulletin of the National Research Council. Vol. 3, Nr. 18, August 1922.

Der Bericht, dessen Beiträge aus der Feder bekannter Fachwissenschaftler stammen und eine Übersicht bis etwa Ende 1920 geben, zeichnet sich durch historische Gründlichkeit aus und wird, da eine ähnliche Zusammenstellung zurzeit bei uns nicht existiert, auch für die deutsche Forschung eine gewisse Bedeutung haben.

Nach einer Übersicht über die früheren Theorien der Elementarmagnete und Elementarströme von *Gilbert* bis *Ewing (Quimby)* gibt *A. Wills* einen Überblick über die Theorien des Para- und Diamagnetismus bis 1920, *E. M. Terry* behandelt die Theorien der „inneren Felder" und des Ferromagnetismus, *J. Kunz* die magnetischen Kristalle und die Magnetonenfrage, *Williams* und *Quimby* die Fragen der Magnetostriktion, *S. J. Barnett* die Beziehungen zwischen mechanischem Drehmoment und Magnetisierung, schließlich *L. R. Ingersoll* kurz einige magneto-optische Fragen.

Man kann nicht gerade sagen, daß der hier gegebene einigermaßen vollständige Überblick über die bisher gewonnenen theoretischen Erkenntnisse auf diesem Gebiet einen sehr erfreulichen Gesamteindruck hervorruft. Die Reichhaltigkeit und Komplexität der beobachteten Erscheinungen hat öfters dazu geführt, gewisse Spezialtheorien durch passende Annahmen mit den Beobachtungen in weitgehende Übereinstimmung zu bringen, ohne daß dadurch irgendwie zwingend auf die Notwendigkeit und Eindeutigkeit der Grundannahmen zu schließen oder auch nur ein weiteres als das ursprünglich zugrunde liegende Material zu beherrschen wäre. So scheint doch z. B. die ganze von *Ewing* und besonders seinen japanischen Nachfolgern geleistete Arbeit ziemlich vergeblich gewesen zu sein, nachdem sich herausgestellt hat (*Frivold*), daß die von diesen Autoren angenommenen magnetischen Ursachen des inneren

Feldes oberhalb etwa 1° absolut viel zu schwach sind, um in Konkurrenz mit der Wärmebewegung irgendwelche orientierenden Wirkungen aufrechtzuerhalten.

Derselbe Einwand scheint auch gegen die interessante Theorie des inneren Feldes bei diamagnetischen Substanzen von *Oxley* (1914—1920) erhoben werden zu können, wo durch Vergleich der Suszeptibilitäten im flüssigen und kristallinischen Zustand innere Magnetfelder von über 10^7 Gauß errechnet werden, während beispielsweise ein Bohrsches Magneton in der Entfernung eines Atomabstandes nur Felder von weniger als 10^6 Gauß hervorruft. Ob die von *Oxley* diskutierten Zusammenhänge dieses inneren „magnetischen" Feldes mit der Gitterenergie und Härte der Kristalle, der Dichteänderung beim Ausfrieren usw. eine von dieser unwahrscheinlichen Annahme unabhängige Bedeutung besitzen, muß wohl vorläufig dahingestellt bleiben.

In demselben Artikel (*Terry*) werden übrigens auch die von *P. Weiß* zur Erklärung der inneren Felder herangezogenen Versuche von *Maurain* und seinen Nachfolgern diskutiert, die sich auf die magnetische Orientierung von im Magnetfeld elektrolytisch niedergeschlagenen Eisenschichten beziehen. *Weiß* nimmt hier besondere „Kontaktkräfte" an, die sich (wenn nicht Ungleichmäßigkeiten der aufgetragenen Schichten die Resultate fälschen! d. Ref.) über viele Atomabstände hinweg erstrecken. Die nähere Natur dieser Kontaktfelder bleibt allerdings nach wie vor unaufgeklärt.

Von Quantentheorien des Paramagnetismus sind nur die früheren Arbeiten von *Reiche*, *Weißenhof* u. a. näher besprochen, die das magnetische Atom oder Molekül als rotierendes System mit zwei Freiheitsgraden ansehen, während der dritte Freiheitsgrad durch das konstante magnetische Moment festgelegt ist und keine Rolle spielt. Die Bemerkungen von *Pauli*, die, wahrscheinlich der Wirklichkeit näher, von der räumlichen Quantelung von Keplerbahnen ausgehen und schon in die Linie der Stern-Gerlachschen Experimente führen, sind noch erwähnt; dagegen konnten anscheinend die grundlegenden Bemerkungen von *W. Lenz* über die diskreten Quantenlagen der magnetischen Atome in festen Körpern nicht mehr berücksichtigt werden.

Hervorgehoben sei endlich noch die sehr instruktive Zusammenstellung von *Kunz* über ferromagnetische Kristalle, wo u. a. die sonst schwer zugänglichen Arbeiten über Eisenkristalle und Hämatit referiert sind. Bei den von *K. Beck*, einem Schüler von *Weiß*, untersuchten Eisenkristallen ist innerhalb der Ebene der Würfelseiten, wie zu erwarten, 90°-Symmetrie der Magnetisierung vorhanden, die Maxima liegen in den Richtungen der Würfelkanten. Bemerkenswert ist, daß eine spontane Magnetisierung bei diesen Weicheisenkristallen im Gegensatz zum Pyrrhotin fast gar nicht beobachtet wurde; Messungen bei tiefen Temperaturen wären hier zur theoretischen Klärung noch unbedingt notwendig.

W. Schottky, Rostock.

Schiller, Karl, Einführung in das Studium der veränderlichen Sterne. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1923. VIII, 384 S. und 45 Abb. im Text. 8°.

Es muß als ein sehr glücklicher Gedanke des Verfassers des vorliegenden Buches bezeichnet werden, die veränderlichen Sterne zum Gegenstande einer nicht zu umfangreichen, aber auch nicht zu knappen Monographie zu machen. In den zahlreichen astronomischen Kompendien, die im Laufe der letzten zwei bis drei Jahre in Deutschland erschienen sind, werden ja zwar diese interessanten Objekte auch eingehend behandelt, aber doch nicht so ausführlich, wie es etwa für den Liebhaberastronomen, der sich ihrer Beobachtung widmen will, wünschenswert wäre. *Schillers* Buch füllt also eine wirkliche Lücke aus. Übrigens wird auch der Fachastronom gern zu ihm greifen, um sich über einzelne Fragen in bequemer Weise zu unterrichten.

Das Buch setzt an mathematischen oder sonstigen Vorkenntnissen nur wenig voraus. Es zerfällt in sechs Abschnitte: I. Die astrophysikalischen Grundlagen, II. Praktische Photometrie (hier werden auch die photographischen Helligkeitsbestimmungen ausführlich behandelt), III. Die Bearbeitung der veränderlichen Sterne, IV. Lichtwechselhypothesen, V. Die Theorie der Verfinsterungsvariabeln (gerade dieser Abschnitt wird auch dem Fachmanne sehr willkommen sein), VI. Systematische Studien. Vielleicht wäre ein Verzeichnis der helleren Veränderlichen und ein näheres Eingehen auf besonders interessante oder typische Objekte vielen Lesern angenehm gewesen. Abgesehen davon wird man in dem Buche alles finden, was man darin zu suchen berechtigt ist; es macht das Nachschlagen vieler in Zeitschriften usw. verstreuter Abhandlungen überflüssig und ist zugleich ein guter Führer durch die Literatur über veränderliche Sterne. Die Schreibweise ist frisch und klar, der Inhalt bis auf einige ziemlich unwesentliche Versehen von erfreulicher Korrektheit. Sehr zu loben ist auch die Ausstattung.

Es wäre sehr zu wünschen, daß *K. Schillers* Buch dazu beiträgt, das Interesse an den veränderlichen Sternen speziell in Deutschland zu fördern. Die Liebhaberastronomen können auf diesem Gebiete — zweifellos dem lohnendsten, auf dem sie sich betätigen können — noch sehr viel wertvolle Arbeit liefern. In Deutschland sind es aber verhältnismäßig nur sehr wenige, die sich ernsthaft der Beobachtung der veränderlichen Sterne hingeben; wenn wir dagegen die Leistungen der amerikanischen Amateure betrachten, die sich zu einer großen, ihre Beobachtungen regelmäßig veröffentlichenden „American Association of Variable Star Observers" organisiert haben, so müssen wir beschämt gestehen, daß bei uns in dieser Hinsicht bei weitem nicht genug geschieht.

H. Ludendorff, Berlin-Potsdam.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

Zur Frage der Ausbreitung, Ansteckungsart und Verhütung der Lepra. Am größten ist der Prozentsatz der Leprakranken in den heißen, feuchten, tropischen Ländern, relativ groß auch in den nordischen Lepragebieten, wo in den geheizten Wohnräumen ähnliche Vorbedingungen erfüllt sind. Die Art der Ausbreitung in frisch infizierten Gegenden auf die nächste Umgebung des ersten Kranken wird an mehreren charakteristischen Beispielen dargetan. Eine Statistik über 700 von *Rogers*[1]) unter diesem Gesichtspunkt gesammelter Fälle zeigt ebenfalls das Überwiegen der (wahrscheinlichen) Infektionen von Ehegatten, Pflegern, Hausgenossen Leprakranker, namentlich bei Berücksichtigung der Tatsache, daß jenseits des 30. Lebensjahres die Empfänglichkeit für die Ansteckung sehr abnimmt. Die Übertragung findet wahrscheinlich durch Inokulation in die verletzte Haut und Schleimhaut statt. Zum

[1]) Brit. med. journ. *3208*, 987—990, 1922.

Beweise dienen *Roger* u. a. auch einige Beobachtungen von Vaccinationsinfektion und Infektion von Ärzten. Prophylaktisch ist also prinzipiell die Vermeidung häufigen Kontakts, namentlich von Kindern, mit infektiösen Leprösen notwendig. — Die Bekämpfung der Lepra auf den Sandwichinseln besteht hauptsächlich in der Isolierung der Ansteckenden und in der Nachbehandlung der aus den Lepraheimen Entlassenen. Unter die Meldepflicht fällt jeder Kranke, bei dem Leprabacillen mikroskopisch nachgewiesen wurden oder bei dem eine Kommission von drei Ärzten die klinische Diagnose Lepra stellt. Die leichteren Fälle bleiben in der Nähe von Honolulu, während die schwereren auf die Insel Molokai gebracht werden. Sobald die klinische Heilung erfolgt ist, mehrfach keine Bacillen gefunden wurden, tritt eine ambulante Behandlung ein; der Kranke muß bei Strafe erneuter Isolierung alle 8—14 Tage zur „Parole". Diese seit 2 Jahren durchgeführte Behandlungsmethode liegt in den Händen von *Dean*, dessen neue Präparate des Chaulmoograöl solche Maßnahmen erst ermöglichten. Diese vom Verf. genau aufgeführten Mittel werden teils innerlich in Kapseln, teils als Salbe und schließlich als intramuskuläre Einspritzung verabfolgt. Als Vorteil dieser neuen Medikamente wird eine hohe Dosierung auf lange Zeit, Schmerzlosigkeit bei intramuskulärer Einspritzung und endlich bessere Wirkung als bei den alten Chaulmoograpräparaten gerühmt. Jetzt schon von Heilerfolgen zu sprechen, hält Verf. für verfrüht, doch bestätigt er die guten Erfolge der Mittel und des ganzen Behandlungssystems[2]). — *De Souza Aranjo*, der Chef des Gesundheitsdienstes, zählte im März 1922 in der Stadt Para 1135 Fälle, im Hinterland weitere 104. Die meisten sind nicht interniert, doch ist die Behandlung (Chaulmoograöl) in einem städtischen Institut obligatorisch. Ein großes Spezialkrankenhaus wird gebaut[3]). — Langwierige Injektionskuren mit „Collobiase de Chaulmoogra", einem französischen Präparat, wurden von dem Verf. ohne Heilwirkung ausgeführt. Da sich in dem Mittel nur „homöopathische Mengen" von dem sonst bei Lepra wirksam gefundenen Chaulmoograöl befinden, ist ein Mißerfolg nicht weiter verwunderlich. Darum wendet der Verf. sich in scharfen Worten gegen das kostspielige Experimentieren mit solchen Mitteln und sieht in der Anlage von Lepraheimen mit strenger Isolierung die einzige Möglichkeit des Kampfes gegen die Lepra. Die Eingeborenen wissen allmählich die hygienischen und wirtschaftlichen Vorteile, die sich dem unter seinen Landsleuten gemiedenen Leprakranken in der Anstalt bieten, zu schätzen. Durch die Absonderung der Bacillenträger — 2—3 % der Bevölkerung von Niederl.-Indien, d. s. 150 000 Lepröse — muß es nach Ansicht des Verf. gelingen, die Lepra in 2—3 Generationen auszurotten[4]). — In der Hautklinik in Cagliari sind zurzeit aussichtsreiche Versuche einer chemotherapeutischen Beeinflussung der Lepra im Gange mit Cuprocyan und Cuprojodase. Verf. probierte die Collobiase de Chaulmoogra (Dausse), eine von *Vabram* angegebene feinste Emulsion von Chaulmoograöl in Gummilösung, an 20 Fällen aus. Er gab jeden 2. Tag von ¼ bis 2 ccm ansteigend intravenöse Injektionen in Serien von 20—30 Einspritzungen, welche nach 30 bis 40 Tagen wiederholt wurden. Inzwischen wurden bis 20 subcutane Injektionen von ½ bis 5 ccm verabreicht. Die Behandlung wurde reaktionslos vertragen. Der klinische Erfolg (Verschwinden der Manifestationen, Wiederkehr der Sensibilität) war gut. In einer Reihe von Fällen erfolgte auch ein Umschlag der vorher positiven Komplementbindungsreaktion des Serums gegenüber Lepromextrakt[5]).

Zentralblatt für Haut- und Geschlechtskrankheiten.

[2]) Geneesk. tijdschr. v. nederlandsch Ind. *62*, 2, 212—223, 1922.

[3]) Publ. health reports *37*, 22, 1313, 1922.

[4]) Geneesk. tijdschr. v. nederlandsch Ind. *62*, 2, 149—163, 1922.

[5]) Rev. internat. de méd. et de chirurg. *33*, 4, 45 bis 49, 1922.

Deutsche Ornithologische Gesellschaft. In der Sitzung am 5. März sprach Dr. *Ahrens* über die *Vogelberingung* in Amerika. Die ersten Versuche, Zugvögel zu markieren, um über ihre Rückkehr Aufklärung zu erhalten, wurden in Amerika im Anfang des 19 Jahrhunderts ausgeführt, wo *Audubon* einer Brut des in Nordamerika heimischen Braunen Tyrannen — Tyrannus fuscus Gm. — silberne Fäden um die Füße legte. Von den gezeichneten Vögeln kehrten zwei im folgenden Frühjahr in ihre Heimat zurück. — Nachdem 1899 der dänische Ornithologe *Mortensen* die Erforschung des Vogelzuges durch Vogelberingung in die Wege geleitet hatte, begann man 1901 ebenso wie in Deutschland auch in Amerika, Zugvögel zu beringen. 1909 wurde auf der Jahresversammlung der Amerikanischen Ornithologischen Gesellschaft die „American Bird Banding Association" begründet, die die Vogelberingung, die bisher von einzelnen Lokalvereinen ausgeführt war, einheitlich organisierte. 1920 wurde die ganze Organisation der Vogelberingung dem „Bureau of Biological Survey" in Washington unter Leitung von *Oberholzer* und *Lincoln* übertragen. Die Beringung wird hauptsächlich von freiwilligen Mitarbeitern ausgeführt; man plant jedoch, möglichst zahlreiche Stationen in den Vereinigten Staaten zu errichten, welche den Landwirtschaftlichen Instituten angegliedert werden sollen und in ihrer wissenschaftlichen Arbeit dem „Bureau of Biological Survey" unterstehen. Die Beringung erstreckt sich auf Nestvögel und auf alte Vögel, zu deren Fang umfangreiche Einrichtungen getroffen sind. Die Winterquartiere der nordamerikanischen Zugvögel liegen teils im Gebiet des Golfes von Mexiko, teils in Südamerika, wo einige Arten die Zugbewegung bis über den Äquator hinaus, ja bis Patagonien ausdehnen. Der Zug erfolgt teils in „breiter Front", teils auf bestimmten, festliegenden „Zugstraßen", die durch das Tal des Mississippi, über Mexiko und Zentralamerika, sowie über Florida, die Bahamainseln und die Antillen nach Südamerika führen.

F. von Lucanus.

Neue Untersuchungen über Intersexualität. Vor zwei Jahren hat *Goldschmidt* zusammenfassend seine Erfahrungen über Intersexualität bei dem Schwammspinner (Lymantria dispar) veröffentlicht. Die Intersexualität äußert sich darin, daß bei einem Individuum während seiner Entwicklung plötzlich ein Umschlag nach dem andern Geschlecht — sowohl hinsichtlich der primären wie auch der sekundären Geschlechtscharaktere — eintritt. Erklärt wird diese Erscheinung durch die Annahme, daß in jedem Individuum Fermente sowohl für männliche als auch für weibliche Hormonbildung vorhanden sind. Normalerweise nun sind die Verhältnisse so geregelt, daß die eine Sorte von Fermenten die andere numerisch so sehr überwiegt, daß sie allein den Ausschlag gibt. Unter besonderen Umständen aber — bei Bastarden aus geschlechtlich verschieden „starken" Rassen — kommt es vor, daß während der ontogenetischen Entwicklung die eine Fer-

mentsorte die andere überholt, und von dem Augenblick an tritt der Umschlag ein („Drehpunkt"). Alles was vorher schon differenziert war, bleibt bestehen, alle Neubildungen nehmen den veränderten Geschlechtscharakter an. Diese Theorie kann natürlich experimentell nach den verschiedensten Richtungen ausgebaut werden, und so berichtet *Goldschmidt* neuerdings (Zeitschr. f. indukt. Abstl. 29, 1922) über eine Reihe weiterer Erfahrungen.

Frühere Beobachtungen haben ergeben, daß der Antennenumschlag bei männlichen und weiblichen „Intersexen" in verschiedener Weise verläuft. Beide Geschlechter unterscheiden sich dadurch, daß bei den Männchen die Seitenfiedern der Antennen wesentlich länger sind. Bei weiblichen Individuen nun nimmt mit steigender Intersexualität die Fiederlänge schrittweise zu, bis schließlich bei den höchsten Graden vollständig männlicher Charakter der Antennen zum Durchbruch gelangt. Beim Männchen dagegen behalten die Fiedern bis zu sehr hohen Intersexualitätsgraden ihren Charakter bei, erst dann beginnt der Umschlag, und zwar zuerst bloß an der inneren Fiederreihe, um erst bei noch weiterer Steigerung auf die äußere überzugreifen. Dieser auffällige Unterschied zwischen Männchen und Weibchen findet nun darin eine befriedigende Erklärung, daß erstens die männlichen Fiedern viel früher differenziert werden, und daß zweitens dabei die Außenflanke der Antennen der Innenflanke voraneilt. Bemerkenswert ist dann weiterhin das Verhalten der Flügelfärbung vor allem bei männlichen Intersexen; es entstehen nämlich eigenartige Mosaikbildungen von männlich und weiblich ausgestalteten Flügelfeldern, die sich einigermaßen an das Adernetz halten; dabei hängt der Flächenprozentsatz männlicher und weiblicher Felder von dem Grad der Intersexualität ab. An sich scheint dieser Befund im Widerspruch zu stehen zu den Vorstellungen über den Drehpunkt. Auf Grund gewisser Beobachtungen von *Spemann*, wonach bei der Gastrulation im Tritonei nicht alle Bezirke gleichzeitig differenziert werden, gelangt nun *Goldschmidt* zu einer entsprechenden Auffassung für die Schmetterlingsflügel. „Der Determinationspunkt tritt (wenigstens bei den Mosaiktypen) nicht gleichzeitig auf der ganzen Flügelfläche ein, sondern schreitet, von der Flügelbasis sich über den ganzen Flügel ergießend, als Determinationsstrom vor. Wenn nun im Falle der Intersexualität der Drehpunkt eintritt, so werden alle Flügelteile, die der Determinationsstrom noch nicht erreicht hat, ihr Geschlecht wechseln, alle aber, die er schon erreicht hat, ihre einmal eingeschlagene geschlechtliche Differenzierungsrichtung beibehalten."

Schließlich wendet sich *Goldschmidt* der Frage zu, ob Intersexualität durch äußere Faktoren hervorgerufen werden kann. In erster Linie war dabei an die Temperatur zu denken. Es ist ja sehr wohl möglich, daß die Produktion männlicher und weiblicher Hormone durch Temperaturänderungen in verschiedener Weise beeinflußt wird, und daß es infolgedessen zu einem Überschneiden der Produktionskurven und damit zu einem geschlechtlichen Umschlag kommen kann. Versuche mit niederer Temperatur (8 bis 9°) führten tatsächlich bei Weibchen zu einem gewissen Erfolg; es trat eine Verlängerung der Antennenfiedern bis zu einem Grade, der etwa mittlerer Intersexualität entspricht, ein, und die Flügel zeigten deutliche dunkle Pigmentierung, wenn auch nicht ganz bis zu dem männlichen Farbton. Entscheidende Bedeutung freilich möchte *Goldschmidt* solchen Versuchen erst beilegen, wenn es gelingt, Umwandlungen der eigentlichen Geschlechtsorgane zu erzielen.

Die Entwicklungserregung parthenogenetischer Eizellen. Auf Grund von Versuchen, in denen es gelungen ist, durch Quetschung junger kastrierter Fruchtknoten bei Oenothera Lamarckiana die ersten Stadien parthenogenetischer Entwicklung anzuregen, äußert *Haberlandt* den Gedanken, daß es wohl die von dem verletzten Gewebe ausgehenden Wundhormone sind, welche die Eizelle zur Teilung anregen. Eine solche „traumatische" Parthenogenesis ist auch *Bataillon* durch Anstechen unbefruchteter Froscheier gelungen. Anschließend daran hat dann *Haberlandt* die Hypothese aufgestellt, daß auch bei der natürlichen Parthenogenese Hormonwirkung mitspielt, und zwar würde es sich hier darum handeln, daß der Eizelle Nekrohormone von absterbenden benachbarten Zellen zuströmen. Für diese Auffassung werden nun in zwei neueren Arbeiten weitere Argumente beigebracht. Die erste (Sitzb. d. Preuß. Ak. d. Wiss. 1921) beschäftigt sich mit der Entwicklungserregung der Eizellen einiger parthenogenetischer Kompositen; der leitende Gedanke ist dabei der, festzustellen, daß sich bei den parthenogenetischen Formen Absterbeprozesse in der Nachbarschaft des Embryosacks oder im Embryosack selbst abspielen, die den normalen, befruchtungsbedürftigen Formen fehlen. Dieser Nachweis ist tatsächlich für zahlreiche Fälle geglückt. So sterben bei dem gewöhnlichen Löwenzahn (Taraxacum officinale) die innersten Zellen des Integuments (Tapetenschicht) frühzeitig ab, während sie bei anderen befruchtungsbedürftigen Cichorien keine Desorganisationserscheinungen zeigen. Ähnliche Unterschiede ergeben sich für die obligat befruchtungsbedürftigen und die apomikitischen Hieracien, bei welch letzteren aus bestimmten Zellen des Integuments „apospore" Embryosäcke hervorgehen, wogegen der primäre Embryosack abstirbt. Hier kommt als Herd der Nekrohormonbildung sowohl der absterbende normale Embryosack wie auch die degenerierte Tapetenschicht in Frage. Bei der einzigen untersuchten befruchtungsbedürftigen Form blieb die Tapetenschicht wiederum am Leben. Nach derselben Richtung weist das abnorme Auftreten von Wundendosperm und Endospermembryonen, wie es ebenfalls im Zusammenhang mit Absterbeerscheinungen bei Hypochoeris radicata und Hieraciumarten beobachtet wurde. Die zweite Arbeit (Sitzb. d. Preuß. Ak. d. Wiss. 1922) handelt von der parthenogenetischen Entwicklung der Eizellen des Wasserfarns Marsilia Drummondii. Hier werden für die Entwicklungserregung die Nekrohormone verantwortlich gemacht, die von den über der Eizelle liegenden absterbenden Kanalzellen ausgehen. Für eine Diffusion der maßgebenden Stoffe liegen die Bedingungen insofern sehr günstig, als häufig ein direkter plasmatischer Zusammenhang zwischen der Eizelle und der Bauchkanalzelle besteht; die Trennungswand ist durchbrochen und die Plasmabrücke weist feine längsfaserige Fibrillen auf, die hier wie so oft in analogen Fällen die Richtung des Diffusionsstroms markieren. Alle diese Beobachtungen deuten darauf hin, „daß als primäre Ursache der Parthenogenesis . . . . Stoffwechselstörungen im weitesten Sinne des Wortes wirksam sind". *Stark.*

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.